المركز القومى للترجمة

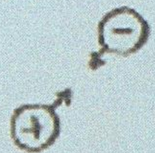
چورچ جاموف

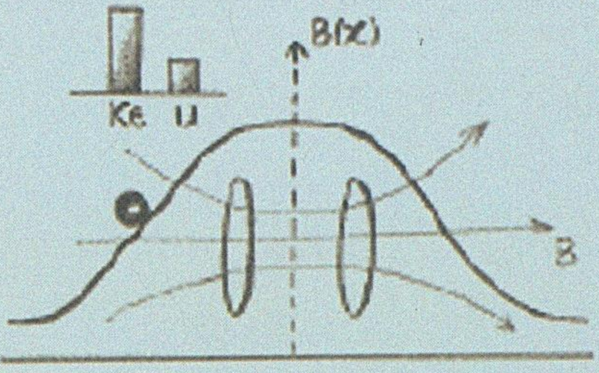
قصة الفيزياء

ميراث الترجمة

ترجمة
محمد جمال الدين الفندى

تقديم
أحمد فؤاد باشا





1645

قصة الفيزياء

المركز القومى للترجمة

إشراف: جابر عصفور

سلسلة ميراث الترجمة

المشرف على السلسلة: مصطفى لبيب

- العدد: 1645
- قصة الفيزياء
- چورج جاموف
- محمد جمال الدين الفندى
- أحمد فؤاد باشا
- 2010

هذه ترجمة كتاب:

Biography of Physics

by: George Gamow

" صدر هذا الكتاب بالتعاون مع الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية"

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمركز القومى للترجمة.

شارع الجبلاية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ – ٢٧٣٥٤٥٢٦ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤

El Gabalaya st. Opera House, El Gezira, Cairo.

E-mail: egyptcouncil@yahoo.com Tel: 27354524- 27354526 Fax: 27354554

قصة الفيزياء

تأليف : چورچ جاموف
ترجمة : محمد جمال الدين الفندى
تقديم : أحمد فؤاد باشا

2010

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

جاموف، چورچ، ١٩٠٤

قصة الفيزياء: تأليف: چورچ جـــاموف؛ ترجمـــة: محمــد جمال الدين الفندى، تقديم: أحمد فؤاد باشا

القاهرة – المركز القومى للترجمة، ٢٠١٠
٤٦٠ ص ، ٢٤ سم
١ – الفيزياء
٢– الضوء
(أ) الفندى ، محمد جمال الدين (مترجم ومقدم)
(ب) العنوان ٥٣٠

رقم الإيداع ١٦٨٣٣ / ٢٠١٠

الترقيم الدولى: I.S.B.N - 978- 977- 704- 261- 1

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومى للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربى وتعريفه بها ، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافاتهم ، ولا تعبر بالضرورة عن رأى المركز.

تقديم

لكل علم من العلوم سيرة ذاتية، أو قصة، تحكى ظروف نشأته ومراحل تطوره عبر التاريخ، وعادة ما تُنسب هذه المراحل المتعاقبة إلى الحضارات البشرية التى صنعته، فهناك العلم القديم الذى أنتجته الحضارات القديمة الرائدة للمصريين والبابليين والصينيين والهنود والفرس والإغريق وغيرهم، وهناك العلم الوسيط الذى أنتجته الحضارة العربية الإسلامية فى العصور الوسطى، وبحلول القرن الخامس عشر الميلادى، تقريبا، كانت علوم الحضارة العربية الإسلامية قد انتقلت إلى أوربا وشهدت العلوم الطبيعية تطورًا ملحوظا فى عصر النهضة الأوربية الحديثة التى مهّدت بدورها لحضارة العصور العلمية والتقنية.

وبالنسبة لعلم الفيزياء فقد عرف الإنسان جوانب علمية كثيرة منه قبل أن يأخذ هذه التسمية، وذلك منذ كان يعيش بالفطرة محاولاً الاستفادة من موارد الطبيعة وتسخيرها لأغراضه ومصالحه. فقد اهتدى إلى إيقاد النار لطهو الطعام ولإنارة الكهوف التى سكنها، وتعامل مع الحجارة الكبيرة فجرّها ونقلها من مكان إلى مكان ليتخذ منها أدوات طعامه وشرابه، أو ليستخدمها فى القطع والشقّ والثقب وصناعة الأسلحة البدائية.

وعندما دخل الإنسان حقبة التاريخ، شرع فى الأخذ بأسباب الحضارة، وأصبحت لديه بعض المعارف والتصورات عن الظواهر الطبيعية المرتبطة بحياته وحاجياته، واكتسب خبرة علمية فى صناعة الآلات التى تيسر له الاستفادة من تلك الظواهر، وتبادل هذه الخبرة ونقلها من أمة إلى أمة، ومن حضارة إلى حضارة، من خلال الرحلات والأسفار لأغراض التجارة أو الغزو. وعندما كان المصريون القدماء يستخدمون الرافعة فى أشكالها المختلفة، كالمجداف والشادوف والميزان، أو

يمزجون النحاس بالقصدير للحصول على النحاس الأصفر، أو عندما كان البابليون يصقلون المعادن ويطلون الأوانى النحاسية بالقصدير لمنْع الصدأ، إنما كانوا يقومون بأعمال من علم الفيزياء شهدت مولد العلم والفلسفة من حيث الصياغة النظرية القائمة على منهج عقلى بحت؛ لأن المادة العلمية التجريبية كانت قد تكونت من قبل فى حضارات الشرق.

وكان فلاسفة الإغريق يتساءلون عن حقيقة العالم الأساسية كما يبدو للإنسان، وهو تساؤل عن الأصل والمبدأ للكون وظواهره، أو سؤال عقلى عن وجود الموجود وطبيعته، أى "الفيزيس" (أو الفيزياء). ومن هنا بدأ استخدام كلمة فيزياء لتدل على ذلك النوع من المعرفة الذى يُعنى بدراسة القوانين الأساسية التى تحكم حركة العالم الواقعى، والفيزيائى هو الذى يحاول الحصول على إجابات منظمة عن أسئلتنا حول هذا العالم بكل ما فيه من إنسان وحيوان ونبات وجماد، وذلك باستخدام المنهج العلمى السليم، فالعلاقة جدّ وثيقة بين تطور تاريخ الفيزياء من جهة وبين تطور المنهج العلمى من جهة أخرى. وكان منهج البحث فى بادئ الأمر – خاصة عند الإغريق – منهجا فلسفيا يعتمد على تأملات العقل الخالص، ولهذا نجد أن اجتهاداتهم لتفسير الظواهر الفيزيائية مثل الضوء والصوت والحرارة وخواص المادة كانت مجرد آراء ذاتية تختلف من فيلسوف لآخر.

فهناك – مثلا – من اعتقد أن الإبصار يتم بخروج الضوء من العين وسقوطه على الجسم المرئى، وهناك من اعتقد بوجود اتصال بين الجسم والعين وهناك من قال بفكرة الشعاع الضوئى، لكن كل هذه الآراء لم تخرج عن كونها تأملات فلسفية ذاتية لا يمكن الوثوق فى صحتها. ولو ظل الوضع على هذا الحال لتوقفت حركة التقدم العلمى، لكن علماء الحضارة العربية الإسلامية فطنوا إلى أهمية المنهج التجريبى الاستقرائى فى دفع حركة العلم واكتشاف القوانين العلمية وتحصيل المعارف الجديدة، وخير مثال على ذلك نجده عند الحسن بن الهيثم المؤسس الحقيقى لعلم البصريات الهندسية Geometrical optics، ولعلً كتابه الشهير "المناظر" يشهد على هذه الحقيقة باعتراف مؤرخى العلم والحضارة.

وفى عصر النهضة الأوربية الحديثة أصبح المنهج التجريبى الذى اصطنعه علماء الحضارة العربية الإسلامية هو المنهج السائد للبحث فى سلوك الظاهرات الطبيعية والربط بين أسبابها ونتائجها، فيما يعرف بقانون السببية الذى قامت عليه فلسفة العلم آنذاك استنادا إلى ما يسمى بالحتمية العلمية، بمعنى أن لكل نتيجة سببا، وأن الربط بين السبب ونتيجته أمر حتمي. وتعددت على أثر ذلك موضوعات علم الفيزياء بحيث أصبح كل منها بمثابة علم مستقل؛ فهناك علم الميكانيكا الذى يعنى بدراسة حركة الأجسام أو تغيير مواضعها، وعلم البصريات الذى يبحث فى طبيعة الضوء وخصائصه وتقنياته، وعلم الصوتيات الذى يهتم بدراسة الصوت والظواهر الصوتية وتطبيقاتها، وعلم الكهربية الذى يضع الأساس لدراسة الشحنات الكهربية وخصائصها فى سكونها وحركتها خلال المواد المختلفة، وما يرتبط بذلك من دوائر كهربية بسيطة أو معقدة، وعلم المغناطيسية الذى تقوم عليه تقنيات بالغة الأهمية، وهناك أيضا فيزياء المواد التى تبحث فى تركيب المادة وخصائصها الضوئية والحرارية والكهربية والمغناطيسية، والفيزياء الذرية والنووية التى تركز على المكونات الدقيقة للذرة ونواتها.

لكن بحلول القرن العشرين ظهرت حقائق زعزعت اليقين العلمى والحتمية العلمية؛ فسرعة الضوء فى الفراغ ثابتة وتقدر بثلاثمائة ألف كيلو متر فى الثانية، ولا يعرف أحد لذلك سببا، وبعض المواد النشطة إشعاعيا تشعّ جسيمات ألفا وبيتا وجاما بطريقة تلقائية دون أن نعلم لها سببا غير أن ذراتها غير مستقرة. وهكذا لم يعد هناك مجال للحتمية بالصورة الصارمة المطلقة التى كانت عليها، وبدأ الحديث عن الاحتمالية والنسبية واللايقين وغير ذلك من المصطلحات التى تميزت بها فيزياء القرن العشرين، وأصبحت بداية هذا القرن، باكتشاف قانون بلانك للإشعاع فى عام ١٩٠٠م، تمثل الحد الفاصل بين الفيزياء القديمة (الكلاسيكية) والفيزياء الحديثة.

وكان أهم ما يميز هذه المرحلة من تاريخ علم الفيزياء هو أن علوم الميكانيكا والكهربية والبصريات وغيرها كانت تتعامل مع الظواهر الطبيعية باعتبارها سيلاً متصلاً، وكان الفصل واضحا بين الأجسام المادية من جهة، والموجات من جهة أخرى، فلكل خواصه المستقلة التى لا تتداخل مع الخواص الأخرى. لكن بحلول عام ١٩٠٠م، وبعد أن ظن العلماء أن كل القوانين الفيزيائية الأساسية قد تم اكتشافها، على ما يبدو، ظهر ما لم يكن فى الحسبان، واضطر العلماء إلى اقتحام عوالم جديدة على مستوى الذرة ونواتها، والأجرام السماوية وحشودها، وانبثقت فيزياء جديدة تتعامل مع عالم المتناهيات فى الصغر، وعالم المتناهيات فى الكِبر، وواجه العلماء نتائج علمية جديدة بحاجة إلى تفسير جديد غير المألوف عندهم سابقا. واستحدث العالم الشهير آينشتين نظرية النسبية الخاصة والعامة، واكتشف بلانك وهيزنبرج ودى برولى وشرودنجر وغيرهم نظرية الكم Quantum theory وأسفر كل هذا عن نتائج ونظريات فيزيائية مثيرة وغريبة، بالإضافة إلى تطبيقات عديدة ومتنوعة، امتدت فى الوقت الحاضر لتشمل بصورة مباشرة، أو غير مباشرة. فروع العلم والمعرفة المختلفة، ويندر أن يتم اكتشاف ما فى أى علم من العلوم بدون أن يكون للفيزياء دور أساسى فيه بشكل أو بآخر. وخير دليل على ذلك ظهور بعض العلوم البينية شبه المستقلة مثل : الفيزياء الرياضية، والفيزياء الفلكية، والفيزياء الجوية، والفيزياء الحيوية، والفيزياء الجيولوجية، والفيزياء الطبية، والفيزياء البيئية، وغيرها.

من ناحية أخرى، إذا عدنا إلى تعريف الفيزياء بأنها العلم الذى يعنى بدراسة القوانين الأساسية التى تحكم حركة العالم الواقعى بكل ما فيه من ظواهر وكائنات، فإن هذا التعريف هو الذى يُفَسِّر لنا اهتمام ذوى التخصصات الأخرى بالأسس الفيزيائية، ليس فقط بالنسبة للمتخصصين فى بقية فروع العلوم الطبيعية، ولكن حتى بالنسبة لدارسى التاريخ والفلسفة وغيرهما من العلوم الاجتماعية والإنسانية، عندما يتعرضون مثلا لعلاقة التطور بالنشاطات الإنسانية، أو لشرح مفاهيم المادة

والطاقة والفراغ والزمن والكم والكيف وغيرها، ومن ثم تبرز أهمية الجانب التاريخي والفلسفى فى تعريف الفيزياء بالنسبة لفروع المعرفة المختلفة، بما فيها العلوم التقنية، وسوف يواصل الفيزيائيون دراسة قوانين الكون الأساسية، ويجتهدون فى الإفادة من تطبيقاتها، تماما مثلما كان أساتذتهم منذ القدم، والفارق الوحيد هو أن الكون قد ازداد أمامهم عمقا واتساعا عما كان عليه، بمعنى أن أسراره ومجاهله لم تعد لها صفة البساطة التى كان يتخيَّلها القدماء. لقد أصبحت الفيزياء أم العلوم فى عصرنا وفى كل عصر آت إن شاء الله تعالى.

من هنا تأتى أهمية الكتاب الذى بين أيدينا لعالم الفيزياء جورج جاموف (١٩٠٤-١٩٦٨) الذى اشتهر فى مجال تبسيط النظريات الفيزيائية لغير المتخصصين وعرف بنظريته التى وضعها فى عام ١٩٢٨ م عن انحلال الذرات ذات النشاط الإشعاعى، كما تنسب إليه نظرية "الانفجار الكبير" The Big Bang لتفسير نشأة الكون التى وضعها فى عام ١٩٤٨م. ولابد من الإشادة بالجهد الكبير الذى بذله المرحوم الأستاذ الدكتور محمد جمال الدين الفندى فى ترجمته للكتاب، بحيث جاءت الترجمة على درجة عالية من الدقة والأمانة، كما لم يفته أن يستدرك على المؤلف فى مواضع عدة، خاصة عندما فنّد إغفاله لدور علماء الحضارة العربية الإسلامية فى مجال العلوم الفيزيائية.

هذا ، والله من وراء القصد، وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين .

أ.د. أحمد فؤاد باشا

المشتركون فى هذا الكتاب

المؤلف : چورج جاموف

ولد چورج جاموف فى أوديسا بروسيا عام ١٩٠٤ وتخرج فى جامعة لننجراد التى حصل منها أيضاً على الدكتوراه فى فلسفة العلوم عام ١٩٢٨ . عين فى عام ١٩٣١ أستاذاً للبحوث بالأكاديمية الروسية للعلوم، وفى خريف عام ١٩٣٤ عين أستاذا للفيزياء النظرية بجامعة واشنطن بأمريكا ، ثم منح الجنسية الأمريكية عام ١٩٤٠ ، وفى عام ١٩٥٦ عين أستاذاً للفيزياء بجامعة كولورادو ، ومنحته اليونسكو جائزة كالنجا لتبسيط العلوم ، لأنه من أنجح من اشتغلوا بتأليف الكتب العلمية المبسطة .

من أكثر مؤلفاته انتشاراً « الشمس » (١٩٤٠) وقد ترجم إلى اللغة العربية ، و « قصة الأرض » (١٩٤١) و « الطاقة الذرية فى خدمة العالم والإنسانية » (١٩٤٦) ثم كتابه الرائع « واحد ، اثنين ، ثلاثة . . . لا نهاية » (١٩٤٧) وكتابه « نشوء الكون » ، اللذان ترجما إلى اللغة العربية ونشرتهما هذه المؤسسة .

المترجم وصاحب المقدمة : الدكتور محمد جمال الدين الفندى

أستاذ الطبيعة الجوية بكلية العلوم بجامعة القاهرة حصل على درجة البكالوريوس فى الطبيعة مع مرتبة الشرف الأولى من جامعة القاهرة . ثم حصل على دبلوم معهد الأرصاد الجوية من لندن سنة ١٩٣٨ ، وعلى الدكتوراه فى فلسفة العلوم سنة ١٩٤٦ . نال جائزة الدولة فى العلوم عامى ١٩٤٧ ، ١٩٥٠ . له أكثر من واحد وعشرين بحثاً ومؤلفاً بالإنجليزية ، كما أن له مؤلفات عدة بالعربية فى موضوع العلوم

المبسطة ، منها : « طبيعيات الجو وظواهره » و« قصة الكون » و « التنبؤ بفيضان النيل » . ترجم كتاب « سكان السماوات » و كتاب « رواد الصواريخ » وكتاب « كل شيء عن الأقمار الصناعية وسفن الفضاء » وكتاب « كيف ترقب السماء » ، وهى من الكتب التى نشرتها هذه المؤسسة .

محتويات الكتاب

صفحة

مقدمة بقلم الدكتور جمال الدين الفندى ٩

تقديم المؤلف للنسخة العربية ٣٥

تمهيد المؤلف ٣٧

الباب الأول : فجر الفيزياء ٣٩

الباب الثانى : العصور المظلمة وعصر النهضة ٦٨

الباب الثالث : قال الله : « ليكن نيوتن » ١٠١

الباب الرابع : الحرارة كصورة من صور الطاقة . . . ١٤٦

الباب الخامس : عصر الكهرباء ١٨٩

الباب السادس : ثورة النسبية ٢٢٩

الباب السابع : قانون الكم ٢٩١

الباب الثامن : نواة الذرة والجسيمات الأولية ٣٦٥

قائمة المصطلحات ٤٢٨

كشاف تحليلى ٤٣٤

مقدمة

بقلم : الدكتور جمال الدين الفندى

نبذة تاريخية :

ولد المؤلف فى أوديسا بروسيا عام ١٩٠٤ وسرعان ما ظهر استعداده لدراسة الفيزياء والفلك . وخلال الفترة الممتدة من عام ١٩٢٢ إلى عام ١٩٢٦ التحق بجامعة لينينجراد ، ثم حصل منها على الدكتوراه فى فلسفة العلوم عام ١٩٢٨ .

وخلال العام الدراسى ١٩٢٨ — ١٩٢٩ سنحت له فرصة للعمل مع (نيل بور) عالم الفيزياء الدنماركى المشهور بجامعة كوبنهاجن ، ومن ثم حصل على منحة من مؤسسة روكفلر للعمل مع لورد رذرفورد بجامعة كمبردج . وفى عام ١٩٣١ عين أستاذاً للبحوث بالأكاديمية الروسية للعلوم . ولقد دعى بعد ذلك لإلقاء سلسلة من المحاضرات فى جامعات باريس ولندن ومتشجان وغيرها . . . وفى خريف عام ١٩٣٤ وصلته دعوة للعمل فى جامعة واشنطن بأمريكا حيث عين أستاذاً للفيزياء النظرية بها ، ثم منح الجنسية الأمريكية عام ١٩٤٠ بعد أن اشترك فى أعمال الحرب العلمية ضد النازى ، خصوصاً فى معامل جامعة چون هوبكنز .

ويعتبر چورج جاموف هذا من الشخصيات العلمية الفذة والمرحة الجذابة التى ظهرت فى هذا العصر . وهو يجيد التكلم بست لغات هى : الروسية ، والفرنسية ، والإيطالية ، والألمانية ، والدنماركية ، والانجليزية . ويعتبر الرجل من مشاهير رجال الفيزياء النووية المعاصرين ، ومن أنجح من إشتغلوا بتأليف الكتب العلمية المبسطة . ومن أكثر كتبه انتشاراً : « الشمس » (١٩٤٠) ، وقد ترجم إلى اللغة العربية ، و « قصة الأرض » (١٩٤١) ، و « الطاقة الذرية فى خدمة العالم والإنسانية » (١٩٤٦) ، وهو كتاب نشره من أجل السلام العالمى . ثم كتابه الرائع الذى أسماه : « واحد ، اثنين ، ثلاثة . . . لا نهاية » نشر عام ١٩٤٧ .

وتتركز أهم دراساته العلمية فى مجالات الفيزياء النظرية ، وعلى الأخص فيما يتعلق بالتفاعلات النووية وأثرها فى تكوين النجوم . ومن أروع بحوثه « أصل

العناصر الكيموية » وقد ضمنها مذكرة نشرها عام ١٩٤٨ .

أما وقد استعرضنا مجمل ما للمؤلف من مآثر علمية ، فقد بقى أن نعود إلى الحديث عن الفيزياء نفسها ، وعن قصتها التى هى موضوع هذا الكتاب .

دراسة الفيزياء :

يصادف الطالب أول دراسته فى مرحلة التعليم الإعدادى علم الفيزياء، فيتهيأ لتكوين فكرة عامة عن خواص المادة وصفاتها الطبيعية ، مثل تقسيمها إلى غازات وأجسام سائلة وأخرى صلبة، ويفهم معنى الكثافة، وقاعدة الأجسام الطافية والمغمورة، ثم ينتقل إلى مرحلة التعليم الثانوى حيث يعرض عليه الموضوع مفصلا بعض التفصيل، ومقسماً إلى فروعه التقليدية القديمة : الضوء والصوت والحرارة والكهربية والمغناطيسية. ويتعرض الطالب فى دراسته لبعض التطبيقات مما عم وشمل أغلب نواحى حياتنا : مثل المحرك الكهربى والمولد الكهربى وأنابيب اللافتات ، وصور الطاقة المختلفة الحرارية والميكانيكية والكهربية، واستخدامها فى التسخين والتبريد والطهى والعلاج واللهو والتسلية بالراديو والتليفزيون والمسرة و . . .

وقد تحيد دراسة الفيزياء عن مجراها الطبيعى وتطبيقاتها العادية لسبب من الأسباب ، أو رغبة فى التوسع فى مجالاتها النظرية توطئة لمواجهة الامتحانات ! وعندها يهمس الطلبة : ما لهذا العلم قد تعقد ؟ » . . . ويقول بعضهم : « يا له من علم ثقيل ! » . وتزداد الطينة بلة عند ما تتحول بعض أسئلة مادة الفيزياء إلى مجرد تمارين رياضية فيكثر الرسوب فى هذه المادة ، ويهرب الطلبة من دراستها ، ويهرعون إلى الدراسات الأدبية والعلوم الإنسانية يلتمسون فيها الرحمة ويضمنون فيها النجاح .

هذا من ناحية التدريس، أما عن الطالب نفسه — كما ورد فى بعض التقارير، ومنها ماقدم للمجلس الأعلى للعلوم بمعرفة الدكتورين محمود الشربينى وزكى مرسى — فالمعروف أن الطالب يكاد لا يحس إلا بالماديات الملموسة أو المحسوسة ، ولا محل فى مخيلته للمعنويات . . حتى إنه ليسر ويطرب إذا ما ألفى مصباحاً يضاء بعمود كهربى بسيط ،ولكن خياله لا يتعدى هذا السرور وذاك الطرب. ورغم أنه يلاحظ أن انبثاق الضوء يصاحبه ظهور فقاعات تنطلق من لوح النحاس فى العمود واختفاء

أجزاء من لوح الخارصين فيه، تجده رغم ذلك لا يبدى اهتماماً لو حاولت استطلاع رأيه فيما يرى، ولو أنك حاولت أن تتحدث إليه فيما يشاهد ، كأن تشرح له الطاقة الكيموية التى تحدث فى العمود وعن تحولها إلى طاقة كهربية تبدو فى المصباح على هيئة ضوء وحرارة، لما حرك ساكناً حيال هذا التسلسل البديع الأخاذ . وعلى أية حال فلعل عذره فى ذلك أنه لم ينشأ منطقه على البحث عن الأسباب والعلل ، ولم يتذوق حلاوة التسلسل فى التفكير ... وقد لا يسلم بوجوب محاولة تفسير ما يرى، فكل ما يبصر هو الواقع أو هو هكذا دون علة أو سبب . مثل هذه العقلية تتطلب بطبيعة الحال عناية خاصة ومجهوداً عظيماً يبذل من أجل دراسة الفيزياء . ولقد كان الاهتمام بدراسة هذه المادة بالذات من أهم أسباب التقدم العلمى فى الدول الكبرى التى تتسابق فى ميادين العلم سباقاً لا هوادة فيه على النحو الذى نراه اليوم .

ولقد أصبح من المألوف فى كثير من البلاد المتقدمة علمياً أن نرى المدرس يبدأ درس الفيزياء بذكر آلة معروفة يراها التلميذ ويألفها فى يومه ، إن لم تكن فى متناول اليد ساعة الدرس، أو يبدأ بذكر حقيقة علمية سهلة، ثم يجعل هذه الآلة أو تلك الحقيقة موضوع المناقشة ، فإذا بالتلميذ يجد طريقة عمل الآلة وكيفية شرح الحقيقة مشكلة تتطلب حلا ، ولابد أن توحى هذه المشكلة بعمل تجربة فتجرى فى الحال ، يعملها التلاميذ أنفسهم لو استطاعوا إلى ذلك سبيلا ، أو لا يعملها التلاميذ ، لو قامت أمامهم استحالة مادية حالت دون إجرائها ، وهكذا يخرج القانون من بين الحقائق الثابتة المعروفة لهم نتيجة للمناقشة التى يوجهها المدرس توجيهاً سليماً . وبهذه الطريقة تلتهب نفوس التلاميذ ويتحفزون لحل كل مشكلة تعرض عليهم . ويمضى الوقت وإذا بالتلاميذ قد مرنوا على التمييز بين ما إذا كانت التغيرات المشاهدة هى تغيرات حقيقية أم هى مجرد أخطاء عملية مثلا ، بل كثيراً ما ينجحون فى استنباط القانون بأنفسهم ، حتى لو أخرجوه لفظاً مختلفاً عن المألوف أو المتداول من القوانين ، ومهما يكن من شىء فإننا إنما نهتم بالجوهر دون العرض . أما فى بعض الحالات فرغم اتساع الموضوع بما لا يسمح باستيعاب أسسه فى سنوات معدودات ، فقد نجد اهتماماً خاصاً بدراسة أبعد النظريات عن الفهم وشرح أعقد الأجهزة عن الإدراك، حتى فى السنين الأولى ، كل ذلك دون هضم الأسس الأولى وفهم المبادئ الأساسية .

ويلخص الهدف من دراسة الفيزياء فى المدارس فيما يلى :

١ ـ القدرة على أن يفهم التلاميذ الظواهر الطبيعية التى حولهم ، وتسخير الطاقات لمصلحة الإنسان واستخدامها لمنفعته ، نتيجة لفهم خصائصها وما يطرأ عليها من تغيرات بسبب العوامل المختلفة التى تؤثر فيها . كذلك أن يفهم الطالب كيف أن إخضاع كل شىء للرصد يزيد من قدرة الإنسان على تفهم ما أودع الكون من أسرار .

٢ ـ تشجيع التلاميذ على الملاحظة العلمية التلقائية كلما سنحت الفرصة لذلك . ويتم إنجاز ذلك بربط الحقائق العلمية بتطبيقاتها على أوسع نطاق ممكن ، وخصوصاً تلك التطبيقات التى فى متناول اليد والتى يصادفها الطلبة فى حياتهم العادية .

٣ ـ العناية بتعويد التلاميذ الدقة فى العمل والتفكير معاً ، فعدم الدقة فى حساب التيار الكهربائى قد يؤدى إلى احتراق المصابيح ، وعدم الدقة فى تقرير سرعة القاطرات قد يؤدى إلى حدوث كارثة ، وعدم الدقة فى قياس ضغط البخار فيها قد يؤدى إلى انفجارها .

٤ ـ إظهار مدى مساهمة علم الفيزياء فى تقدم ركب الحضارة وفى الوفاء بحاجة الإنسان الأساسية ، وذلك عن طريق الإشارة إلى ما له من تطبيقات شتى .

٥ ـ العناية بتوضيح الجهود التى أدت إلى تقدم علم الفيزياء وتطوره، فيشار مثلا إلى تاريخ العلماء الذين أسهموا فى هذا التقدم ، وهو موضوع هذا الكتاب . وتصبح قيمة هذا العمل بالذات عظيمة فى الدراسة الجامعية التى يتعرض فيها الطالب لدراسة النظريات المختلفة .

من سجل تاريخ العلوم :

ولقد ذهب المؤلف فى كتابه هذا خطأ إلى أن من أهم أسباب تخلف العرب فى مجال علم الفيزياء انتشار الخرافات وأحاجى شهرزاد ، وأساطير ألف ليلة وليلة . . فاقتصرت أغلب أعمالهم وتطبيقاتهم فى مجالى الفلك والكيميا على متابعة تلك الأحلام الوهمية والآمال البراقة ،والتمنيات الخيالية التى تناولت موضوع التكهن بمستقبل أى فرد

على أساس أشكال تجمعات النجوم يوم ميلاده (التنجيم) ، وكذلك البحث عن الوسائل التى تحول بها المعادن المألوفة والعادية إلى ذهب ثمين (الكيميا الخرافية أو الكمى) . ويخرج من كل هذا إلى أنه لم يكن لهم إنتاج يذكر فى مجال الفيزياء إلا بطبيعة الحال إذا اعتبرنا الكيميا بمثابة البشير الذى سبق ظهور الطرق الحديثة المستخدمة فى تحويل أى مركب كيموى إلى مركب آخر ، أو تحويل أى عنصر إلى آخر ، كما يحدث الآن فى عصر الذرة .

والحق أن الأمة العربية هى التى رفعت لواء العلم طوال القرون المظلمة والعصور الوسطى ، وكانت فى مركز قيادى ، فنهلت من العلم الإغريقى ، وزادت عليه وأضافت إليه ، ومن المستحيل أن نتصور أمة تنقل علوم أمة أخرى إلا أن تكون قد بلغت من التقدم الحضارى والعلمى ما يؤهلها لهضم العلم الذى تنقله . ولا يعرف التاريخ أمة اهتمت بالعلم كالأمة العربية فى عصورها الزاهية ، حتى لقد كان العلم والحركة الثقافية جزءاً من حياتها بل من كيانها .

وكانت العواصم العربية : القاهرة ، ودمشق ، وبغداد ، وقرطبة ، كلها مراكز إشعاع للعلم والعرفان ، واحتل العلماء درجة مرموقة لدى الخلفاء والأمراء والحكام الذين لم تلههم فتوحاتهم وانتصاراتهم عن طلب العلم ، فجدوا فى ذلك أيما جد ، ولم يبخلوا بالصرف عليه . وكانت هواية الأثرياء والأمراء جمع المخطوطات من شتى الأنحاء والتفاخر بما لديهم منها . ومن المعروف أن الرشيد والمأمون نقلا إلى بغداد كل ما عثرا عليه من مخطوطات ، كما أغدقا العطاء للعلماء ، فازدهر العلم وعلا شأنه .

وكان المأمون يسلك جميع السبل ويرسم الحيل لتحقيق بغيته ، فقد عمد إلى توثيق علاقاته بملوك الروم وأتحفهم بالهدايا الثمينة ، وسألهم أن يمدوه بما لديهم من كتب فلاسفة الإغريق ، فبعثوا إليه بما كان لديهم من كتب أفلاطون وأرسطو وسقراط وجالينوس وإقليدس وبطلميوس وغيرهم . وعندما عثر على كتاب بطلميوس فى الفلك أمر بترجمته وأسماه «المجسطى» . ومن مآثر المأمون فى هذا الميدان أنه أنشأ فى بغداد سنة ٢١٥ هـ (٨٢٠ م) بيت الحكمة ، وقوامه مكتبة جمع فيها آلاف المخطوطات ، بعضها مترجم عن الحضارات القديمة التى ورثها المسلمون ، وبعضها الآخر من تأليف العرب فى شتى العلوم والفنون ، وقد أم الباحثون هذه المكتبة

ووفدوا إليها من مختلف الأقطار . وتلك خطوة انتقل فيها العلم من الرواية إلى التأليف ، ومن الجدل والكلام إلى البحث والاستقصاء .

وثمة ناحية أخرى ساعدت على رفع قدر العلم عند العرب ، تلك هى سماحة الإسلام وحثه على طلب العلم ، مما حمل العرب على تأليف الموسوعات الشاملة فى مختلف فروع العلم والمعرفة . فكتب ابن سينا نحو ٢٧٦ كتاباً ، فى الطب والفلسفة والمنطق والفلك والرياضة والطبيعة والنبات والحيوان والتشريح إلخ . . . وصنف ابن الهيثم نحو ٢٠٠ كتاب ، منها كتابه « البصريات » الذى أخرجه أستاذنا مصطفى نظيف . وألف البيرونى نحو ١٨٠ كتاباً ، تمتاز بالمستوى العلمى الرفيع ، وألف الجاحظ نحو ٣٥٠ كتاباً . وغيرها كثير ، مما تفخر به المكتبة العربية ، ولقد أظهر المترجم فى بعض تعليقاته تحت الهامش كيف حث القرآن الكريم على العلم والتفكير فى أرجاء الكون القريبة والبعيدة .

ولقد أجمع كثير من علماء الغرب المنصفين مثل « سارتون » على أن ابن الهيثم عالم فى الفيزياء النظرية والتجريبية والتطبيقية كذلك ، بكل ما تحمل هذه الكلمات من معان فى العصر الحديث . وابن الهيثم هو أول عالم نادى بالمبدأ القائل بأن الأساس فى العلوم وخصوصاً الفيزيائية هو التجربة والاعتبار (أى تكون الأرقام لها اعتبارها من حيث الخطأ والصواب . . إلخ) وقد نقل عنه هذه النظرية فرنسيس بيكون وهو الذى أدخل هذا المبدأ فى العالم الغربى . ويقول (بلتون) : (إن العرب كانوا يعرفون ثقل الهواء ، ولهم وسائل متقنة وموازين دقيقة لاستخراج الوزن النوعى لأكثر السوائل والجوامد التى تذوب فى الماء . ولهم فى ذلك جداول على النحو المستعمل الآن) . ولقد ظلت كتب هؤلاء العلماء المسلمين تدرس فى جامعات أوربا حتى عصر النهضة فى القرن السابع عشر ، وكانت تلك الكتب تترجم وتطبع لتكون المراجع التى يعتمد عليها ، ومن أبرز علمائنا المعاصرين الذين أظهروا هذه الحقائق فى مؤلفاتهم قدرى طوقان وعبد الحليم منتصر .

والحق يقال : ما أحوجنا إلى مؤلف يجمع شتات هذه المعلومات عن العلماء العرب الذين كتبوا فى العلوم الطبيعية من فيزياء وجبر وهندسة وكيمياء وحيوان

وطب وصيدلة وزراعة ونبات، ليقدم هذا الإنتاج العلمى الرائع* إلى العالم مفاخرين به الأمم وحافزين به الشباب إلى محاولة استعادة أمجادهم .

وكان فى قرطبة — حوالى سنة ٩٧٠ ميلادية — ٢٧ مدرسة مجانية مفتوحة الأبواب لتعليم أبناء الشعب . وكانت تلك المدارس فى غاية الإبداع ، قصدها أهل أوربا فى القرون الوسطى وتعلموا فيها العلم ثم حملوه منها إلى بلادهم .

وكما يقول السيد محمد مفيد الشوباشي فى كتابه «العرب والحضارة الأوروبية »:**

« إذا صح أن حضارة الغرب نبتت من بذور الحضارة العربية القديمة فكيف نعلل غفلة الكثرة الغالبة من مؤرخى الغرب ومفكريه عن هذه الواقعة ، أو إنكارهم لها ، وتمسكهم بأن أوربا مدينة بحضارتها من رأسها إلى قدمها ، للتراث الإغريقى دون غيره ؟ . . . من العنت أن نتهم أفراد هذه الكثرة بالتعصب أو الجهل . . . وما تعليل موقف أولئك العلماء من الحضارة العربية — التى لا يكاد الإنسان ينفض عنها غبار التاريخ حتى تتجلى روعتها ويبدو فضلها على الحضارة الغربية واضحاً لا ينكر — إلا إجحاف عن إظهار علوم العرب فى الوقت الذى تبدو فيه شواهد حضارة الإغريق واضحة جلية فى مختلف ميادين الأدب والفن الأوربية . ولم تقف مهمة العرب فى وضع أسس الحضارة الغربية عند حد ما غرسوا فى نفوس علماء الغرب من حب حرية الفكر وتقديسها وما لقنوهم من دقة البحث فحسب ، ولكنهم أمدوهم بعلم هو أساس الجانب المادى من الحضارة الغربية بحق ، ألا وهو علم الرياضة الذى فتح لأوروبا طريق التقدم العلمى فسيحاً ممتداً إلى غير حد .

لقد ابتدع جابر بن حيان علم الجبر الذى سمى باسمه . وابتدع الخوارزمى، وهو عربى الثقافة والعقلية رغم أصله الفارسى — ابتدع اللوغاريتم الذى سمى كذلك باسمه ؛ إذ كان الأوروبيون يعرفون اللوغاريتم باسم « الجورتمى » أى الخوارزمى. ويؤكد مؤرخو الغرب أن فلسفة ديكارت كانت نقطة انتقال الفكر الأوروبى من عهد محاكاة الإغريق إلى عهد الأصالة والانطلاق ، ولكن أحداً من أولئك المؤرخين لم يذكر لنا فضل العرب على ديكارت ، أو مدى إفادته من علومهم التى فتقت ذهنه ومكنته من إقامة صرح فلسفته ، ولسنا نشك فى أن كوبرنيق وغاليليو قد أفادا

* مما يدعو إلى الغبطة والسرور اهتمام وزارة الإرشاد القومى بهذا الأمر وتبنيه . (المترجم)

** المكتبة الثقافية رقم (٤٣) .

كذلك من بحوث العرب فى علم الفلك وفى الفيزياء التجريبية . ولا ينكر أحد أن هذين العالمين اللذين غيرا معتقدات العالم عن الكون قد استعانا بكثير من آلات الرصد التى استخدمت فيها العدسات ، ثم بالجبر ، على حل ما اعترض دراساتهما من تعقيدات رياضية . . كذلك توصل « نيوتن » بها وباللوغاريتم إلى كشف قوانينه التى يعرض هذا الكتاب جانباً كبيراً منها .

مجمل القول أن آثار النتائج الباهرة التى أسفرت عنها كشوف العرب العلمية المعتمدة على الناحيتين ، النظرية الرياضية والعملية التجريبية ، وكذلك ما جبلوا عليه من حرية الرأى ، جعلت الأوروبيين يؤمنون بالعلم ثم بالعقل البشرى الذى ابتكر العلم وابتدعه. ويستطيع المرء أن يستخلص مما تقدم أن فضل العرب على الأوربيين لم يقتصر على نقل ثقافة الإغريق أو إعطائهم مفاتيح العلوم فحسب ، ولكن تعدى ذلك إلى تخليص عقولهم من رواسب الخرافات القديمة ، وحملهم على طلب العلم ، والإيمان بقدرتهم على التحكم فى المادة وطاقاتها .

عصر النهضة :

رغم أن الكتاب يبدأ بعرض رائع لأعمال الإغريق فى الفيزياء ، ويسرد لنا ما خلفوه للبشرية فى هذا الميدان الهام ، وعلى رأسهم جميعاً أرشميدس وأعماله فى الروافع والبكرات والأجسام الطافية والمغمورة ، فإن التقدم الحقيقى فى علم الفيزياء تم فى عصر النهضة فى أوربا ، عندما أطلق للعقل البشرى العنان من جديد وحرر من تحكم رجال الدين . وفى فجر ذلك العصر صاغ كبلر قوانينه الفلكية الخاصة بحركة الكواكب من حول الشمس ، وألهمت تلك القوانين نيوتن ليصوغ بدوره قوانينه المعروفة فى علم حركة الأجسام ، « ميكانيكا » . ويعرف لنا نيوتن معنى الزمان ، والمكان ، والعجلة ، والقوة ، والشغل ، والقدرة ، والطاقة . كما تضمنت أعماله فى الضوء مسائل الانعكاس والانكسار والألوان وتحليل ضوء الشمس وقوس قزح والتلسكوب العاكس والعدسات المركبة ، وفائدتها فى معالجة عيوب تلوين الصورة ، وحلقات نيوتن .

ويصف الكتاب الصراع بين نيوتن صاحب نظرية الجسيمات الضوئية وهيجنز صاحب النظرية الموجبة ، ويشرح لنا كيف استخدمت الخصائص الطبيعية

للضوء فى التدليل على صحة كل نظرية مثل : الانعكاس ، الانكسار ، التداخل ، والانكسار الثنائى أو المزدوج الذى يحدث فى بعض البلورات مثل بلورات أيسلاند سبار . وينتهى الصراع برجحان كفة النظرية الموجبة ، وافتراض أن الضوء موجات مستعرضة فى وسط غير مادى هو الأثير ، ثم يبدأ البحث عن خصائص هذا الأثير وصفاته المميزة ، وهنا تبدأ مشكلة جديدة لم يصل العلم فيها إلى حل مقنع .

وفى ميدان علوم النسبية تجىء أول خطوة حقيقية على يد غاليليو عند ما وصف تجربة ذهنية فحواها أنه إذا حبس شخص نفسه داخل حجرة أسفل سطح سفينة تتحرك بسرعة منتظمة فإنه يستحيل عليه أن يحكم عن طريق أية ظاهرة أو حادثة تحدث عنده فى الغرفة ما إذا كانت السفينة تتحرك أو لا تتحرك . وتعتبر هذه التجربة بمثابة الخطوة الأولى ، أو اللبنات الأساسية التى بنى عليها أينشتين فيما بعد نظرية النسبية .

وعند ما عولجت الديناميكا الحرارية رياضياً أدخلت فكرة « درجة التعادل» وهى خارج قسمة كمية الحرارة التى يكتسبها أو يفقدها الجسم على درجة حرارة هذا الجسم بالتقدير المطلق . وإذاً فيمكن صياغة القانون الثانى للديناميكا الحرارية بقولنا درجة تعادل أى جهاز معزول ، إما أن تميل إلى الزيادة وإما أن تبقى ثابتة على ما هى عليه . وهذا القانون يسمى كذلك قانون تزايد درجة التعادل ، وكان من السهل تطبيق الطرق الإحصائية على الغازات ، إذ أن فيها (بخلاف السوائل والأجسام الصلبة) تنساب الجزيئات حرة فى الحيز الذى يشغله الغاز ، فتتصادم فيما بينها ، أو تصدم جدران الوعاء الذى يضمها أو يحتوى عليها . وتتمخض هذه العملية عن تولد قوة منتظمة هى ما يعبر عنه بضغط الغاز (ض) ، وتم تفسير قانون التناسب العكسى بين ضغط الغاز وحجمه أو قانون بويل فى ضوء هذه الحقيقة . وكذلك أمكن استنتاج أن الضغط يتناسب طردياً مع مربع سرعة الجزيئات ، وبما أنه يتناسب طردياً مع درجة الحرارة فمن السهل أن نرى أن درجة الحرارة المطلقة ما هى إلا مقياس للطاقة الناجمة عن الحركة الحرارية للجزيئات .

ومن بين الآراء الهامة فى النظرية الإحصائية للغازات فكرة (متوسط المسار الحر أو الطليق) وهو كمية صغيرة ، ويفسر لنا قصر متوسط المسار الحر هذا

حقيقة أن الجزيئات – رغم تحركها السريع – تستغرق زمناً طويلا لكى تنتقل مثلا من أحد جوانب الغرفة إلى الجانب الذى يقابله . وعند ما نستعرض أمامنا ما يحدث للجزىء فى جميع العمليات التى تتضمن انتقال الحرارة ومن ثم ازدياد درجة التعادل ، نجد أن المسألة لا تعدو كونها أمراً طبيعيًّا . وما الزيادة فى درجة التعادل إلا زيادة الاحتمال فى نماذج حركة الجزيئات . وبينما تجب إضافة درجات التعادل فى أجهزة الديناميكا الحرارية المركبة ، تخضع الاحتمالات لحاصل الضرب ، مما يحتم وجود علاقة لوغاريتمية بين المقدارين ، أى أن درجة التعادل يجب أن تتغير مع لوغاريتم الاحتمال ، أى أن S = ك لو ض ، حيث ك هو معامل بولتزمان .

ولقد أمدتنا دراسات بيران فى موضوع الحركة البراونية المعروفة ببرهان قاطع على صحة نظرية الحركة الحرارية ، كما سمحت لعلماء الفيزياء بمشاهدة القوانين الإحصائية للحركة ، وذلك بطريقة مباشرة ، بعد أن كانت قبل ذلك مجرد آراء نظرية ، وظهرت النظرية الرياضية السليمة التى تفسر حركة براون على يد ألبرت أينشتين عام ١٩٠٥ .

وفى ضوء التركيب الجزيئى والحركة الحرارية أمكن تفسير الحقيقة المشاهدة بأن سرعة الصوت فى الهواء لا تتوقف على الكثافة ، وإنما تتناسب طرديًّا مع الجذر التربيعى لدرجة الحرارة المطلقة .

وفى ضوء التركيب الجزيئى والحركة الحرارية أمكن كذلك تفسير تولد موجات الصوت المختلفة عندما يتحرك الدافع على تولدها بسرعة أكبر أو أصغر من سرعة الجزيئات .

وتنتشر الذرات أو الجسيمات الأولية للغازات حرة طليقة فى الفضاء ، ومن آن لآخر يتصادم بعضها مع بعض ، وفى كل تصادم يتم تحدث لها (استثارة) – (عند ما تكون درجة الحرارة عالية علوًّا كافياً) ، فتنطلق وهى تتذبذب ، وتشع موجات الأثير المميزة لها . وعلى ذلك فإن طيف أى غاز أو بخار يتكون من خط أو أكثر مميز له . ويمكن تعرف نوع الغاز أو البخار بهذه الخطوط . أما فى حالة الأجسام الصلبة أو السائلة فإن الذرات تكون مكدسة بعضها فوق بعض لدرجة أنها تفقد خصائص نغماتها أو ذبذباتها النقية . وهكذا نجد أن ما تتميز به المواد المختلفة

من الإشعاع الضوئى إنما يمثل الأساس الذى تقوم عليه إحدى وسائل التحليل للطيف الهامة ، التى تتيح لنا فرصة التعرف على التركيب الكيموى لأى مادة ، وذلك من مجرد ملاحظة الضوء الذى تشعه أبخرتها حتى لو كانت ضاربة فى أعماق الفضاء حيث النجوم والشموس .

وفى مجال علم الكهربا يوضح الكتاب كيف استطاع أن يميز بعض المشتغلين بالفيزياء بين نوعين مختلفين من الشحنات أطلقوا على نوع منهما اسم (الكهربية الزجاجية) أو الموجبة ، كما أطلقوا على النوع الثانى اسم (الكهربية الراتنجية) . ولاحظوا أن الشحنات المتماثلة تتنافر ، كما أن الشحنات المتضادة تتجاذب ، وما إن جاء بنيامين فرانكلين فى منتصف القرن الثامن عشر حتى أعلن أن السيال الكهربى هو جوهر واحد لا تتعدد أنواعه بالموجب والسالب ، واعتبر الشحنات الموجبة على أنها المزيد من الكهربية (الزجاجية) ، والشحنات السالبة هى (النقص) فى هذا النوع كذلك .

ومهما يكن من شىء فإننا لا نزال نجهل حقيقة الكهربا ، وإن التسمية التى أسبغناها على نوعى الشحنة ما هى إلا مجرد تعبير لظاهرة من الظواهر التى لا تعرف حقيقتها ، ولكننا نشاهد آثارها ومظاهرها على المادة . وهناك بعض الآراء التى تنادى بوجوب تغيير اسم الكهربية الموجبة والسالبة بحيث يطابق الاتجاه التقليدى للتيار من + إلى — من شتى الوجوه الاتجاه الذى تتحرك فيه الكهارب أو الجسيمات الأولية المشحونة التى يولد سريانها التيار الكهربى .

وعند ما صاغ كولوم قانونه الذى لا يزال يحمل اسمه ، والذى يقول بأن قوى التجاذب أو التنافر الكهربى بين شحنتين إنما تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين ، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما ، استطعنا أن نعرف وحدة الشحنة الكهربية الاستاتيكية (الكتروستاتيك) ، ووحدة الشحنة العملية أو (الكولوم) . وكذلك أمكن تعريف وحدة شدة القطب المغناطيسى والجهد الكهربى .

وعند ما جاء فارادى أجرى العديد من التجارب على العلاقة التى تربط بين المغناطيسية والكهربية من جهة ، ثم المغناطيسية والضوء من جهة أخرى ، وكشف لنا قوانين التحليل الكهربى ، ثم توصل إلى اكتشاف التيارات التأثيرية أو المنتجة بالتجربة . ويعد هذا الكشف بالذات فاتحة عصر جديد فى عهد الكهرباء ، إذ أدى إلى

صناعة المولدات والمحركات والمحولات الكهربية .

وأثبت فارادى كذلك بالتجربة وجود علاقة بين المغناطيسية والضوء . وتفسر ظاهرة فارادى هذه بأن القوة التى تؤثر فى كهرب ذرى يتحرك فى مجال مغناطيسى إنما تتوقف على اتجاه الحركة . ففى حالة الدوران ضد عقرب الساعة يمكن أن تعمل القوة على زيادة نصف القطر ونقص التردد . أما فى حالة الدوران مع عقرب الساعة فإنها تعمل على تقليل القطر وزيادة التردد ، وعند ما تؤثر فى الضوء نجد أن هذين النوعين من حركة الكهارب يعملان على دوران مستوى الاستقطاب وراح العلماء يفسرون ظاهرة فارادى هذه .

وما إن اقتنع فارادى بأن كل الظواهر التى نشاهدها فى عالم الطبيعة إنما يتصل بعضها ببعض بطريقة أو بأخرى ، حتى راح يحاول الحصول عن طريق التجربة على العلاقة القائمة بين القوى الكهرمغناطيسية وقوى الجاذبية التى تحدث عنها نيوتن ، إلا أن التجارب العديدة التى أجراها من أجل إماطة اللثام عن سر هذه العلاقة باءت كلها بالخذلان ولم تسفر عن نتيجة إيجابية .

وبعد مضى قرن حاول ألبرت أينشتين خلال عشرات السنين الوصول إلى مايسمى « نظرية المجال الموحد » ، وهى التى تجمع معاً كل الظواهر الكهرمغناطيسية والجاذبية فى إطار واحد ، إلا أن أينشتين مات دون إتمام هذه المهمة ، تماماً كما فعل فارادى سواء بسواء .

ولقد تصور فارادى فيما تصور الفضاء الكائن بين الأجسام بأنه ملىء « بشىء يستطيع الجذب والطرد » . وتحدث عن شىء أشبه ما يكون بأنابيب المطاط التى تمتد بين الشحنات وأقطاب المغناطيس . ويقول فارادى إن الأنابيب الكهربية والمغناطيسية مسئولة عن جميع الظواهر الكهرمغناطيسية .

وهكذا كانت آراء فارادى نقطة تحول فى دراسة الفيزياء . فتلك القوى الغامضة التى تؤثر عبر مسافات شاسعة بين الأجسام قد أبدلت « بشىء » يضطرب على الدوام ويفيض ليملأ شتى أرجاء الفضاء الذى بينها أو من حولها ، وهو شىء يمكن أن يقدر بقيمة معينة عند أى نقطة بالذات . ولقد أدخل بذلك إلى علم الفيزياء فكرة « مجال القوى » أو مجرد المجال ، سواء كانت التأثيرات كهربية

أو مغناطيسية أو جاذبية . ويمكن الآن اعتبار القوى المؤثرة المتبادلة بين الأجسام المادية التى يفصل بينها الفضاء الكونى على أنها نتيجة لتأثيرات الربع القريب بين المجالات المحيطة بها .

ويقع عبء مهمة صياغة آراء فارادى فى القالب الرياضى المعبر عن الكم على عاتق كلارك مكسويل العالم الرياضى الجليل ، فإن أعظم أعمال مكسويل على الإطلاق صياغة أفكار فارادى الخاصة بطبيعة المجال الكهرمغناطيسى فى قالب رياضى ، وتعبيره الرياضى : « إن التغير فى المجالات المغناطيسية ينجم عنه بالتأثير تولد قوى كهربية دافعة وتيارات تسرى فى الأجسام الموصلة ، على حين ينجم عن المجالات الكهربية المتغيرة وعن التيارات السارية مجالات مغناطيسية » وتربط معادلاته التى تحمل اسمه فى هذا الصدد بين معدل التغير فى المجال المغناطيسى وتوزيع المجال الكهربى فى الفضاء ، والعكس بالعكس .

ولقد برهن مكسويل على أنه بالرغم من آن المجالات الكهربية والمغناطيسبة تكون عادة (راسية) على الأجسام المشحونة بالكهرباء أو الممغطسة ، فإنه فى مقدورها كذلك أن توجد وتنتشر فى الفضاء على هيئة موجات كهرمغناطيسية حرة طليقة . وعلى ذلك فإن المجال الكهرمغناطيسى المصاحب لتيار يمر فى سلك مثلا ، إنما ينتشر عبر الفضاء المحيط به على هيئة موجات تنقل الطاقة إلى مسافات سحيقة . ولما كانت خطوط القوى الكهربية تقع فى المستوى الذى يمر بالسلك ، وربما تتعامد عليه خطوط القوى المغناطيسية ، فإن المقدارين الموجهين اللذين يمثلان المجالين الكهربى والمغناطيسى فى الموجة المنتشرة يكون كل منهما متعامداً على الآخر وكذلك متعامداً على اتجاه انتشار الموجة .

وفى عام ١٨٨٨ برهن عالم الفيزياء الألمانى هينرخ هرتز عمليا على وجود مثل هذه الموجات ، ولم يكن قد مضى زمن طويل على تكهن مكسويل بها ، مما أدى إلى ابتكار فنون الاتصال اللاسلكى الذى يمثل فى هذا العصر فرعاً رئيسيا من فروع حضارتنا الصناعية .

وبحساب سرعة انتشار هذه الموجات الكهرمغناطيسية من معادلات مكسويل وجد أن هذه المعادلات تستخدم وحدات كهربية استاتيكية للتعبير عن المجالات

الكهربية ، ووحدات كهربية ومغناطيسية للتعبير عن المجالات المغناطيسية ، ولهذا يظهر معامل قدره ٣ × ١٠^١٠ ، هو فى الواقع النسبة بين الوحدة الكهرمغناطيسية والوحدة الكهرستاتيكية ، ودلت هذه النسبة على أن سرعة انتشار الموجات الكهرمغناطيسية هى ٣ × ١٠^١٠ سم / ثانية ، وهى عينها سرعة انتشار الضوء فى الفضاء كما قيست بطرق عديدة قبل مولد مكسويل .

وهكذا اعتبر مكسويل الضوء موجات كهرمغناطيسية ذات أطوال قصيرة وظهرت بذلك (النظرية الكهرمغناطيسية للضوء) وفسرت بها ظواهر عديدة مثل الانتشار والامتصاص والإشعاع إلخ . .

والحق أن كثيراً ما كان التوافق فى القيمة العددية من المقادير الطبيعية التى يلوح أنه لا رابط بينها سبباً فى الوصول إلى كشوف جديدة هامة : ومن هذا النوعان الثابتان اللذان يتصل أحدهما بإشعاع موجات الضوء والحرارة من الأجسام الساخنة ، على حين يتصل الثانى بانبعاث الكهارب من الأسطح المضاءة بالأشعة فوق البنفسجية ، فقد تمخضا عن أهمية عظمى لها قيمتها فى نشوء نظرية الكم .

النسبية :

هنا يجدر بنا أن نقف قليلا نستعرض أفكارنا التقليدية الخاصة بالزمان والمكان ، فمنذ القدم والناس يعتبرونهما شيئين مستقلين ومنفصلين تماماً بعضهما عن بعض . وفى هذا المعنى يقول نيوتن (واضع أسس علم الميكانيكا التقليدية) :

المكان المطلق : فى طبيعته الخالصة ومن غير الرجوع إلى شىء خارجى يظل أبد الدهر متشابهاً وساكناً .

الزمان المطلق : (فى حد ذاته) من طبيعته أن يسرى بانتظام على الدوام دون الرجوع إلى شىء خارجى .

وبينما يتطلب تعريف نيوتن للمكان ضرورة وجود جهاز خارجى مطلق يتخذ مرجعاً للحركة بالنسبة إليه ، يتضمن تعريفه الخاص بالزمان وجود جهاز مطلق للتوقيت ، هو « التوقيت العالمى الكونى » ، إلا أن هذه الفكرة الخاطئة قضت عليها النسبية قضاء مبرماً .

فمن روائع النسبية ما أحدثت من تغييرات جوهرية فى أسس علم الميكانيكا التقليدية القديمة وظهور علم « ميكانيكا النسبية » الذى يتضمن :

١ – الربط ما بين الزمان والمكان بما يسمح بتبادلهما ولو جزئياً على الأقل ، بحيث إن أى حادثتين يفصل بينهما فاصل مكانى بحت فى جهاز معين يمكن أن يؤدى بهما هذا الانفصال المكانى إلى وجود فرق زمنى بينهما عند ما يرصدان من جهاز آخر يتحرك بالنسبة للجهاز الأول .

٢ – ظاهرة « التمدد الزمنى » ، أو الإبطاء فى الساعات عند ما ترصد من جهاز متحرك . ولقد شوهدت ظاهرة إبطاء جميع العمليات الطبيعية التى تصاحب الأجهزة السريعة الحركة بطريقة مباشرة فى حالة اضمحلال الميسونات التى تكون جانباً هاما من الأشعة الكونية . وكما يتمدد الزمن يتقلص أو ينكمش المكان .

٣ – ومن طرائف نتائج النسبية إدخال البعد الرابع على أبعاد المكان الثلاثة ومن ثم الحصول على المكان الزمانى ، فعندما استعملت صيغ رياضية خاصة تحقق وجود اتحادين ، الزمان والمكان . ونستطيع الآن اعتبار الحوادث كافة كأنها تتم فى عالم من المكان الزمانى الرباعى الأبعاد .

ولقد خلصتنا النسبية كذلك من فكرة عالم الأثير التقليدى القديم المناقض لحقيقة الوجود الذى نعيش فيه ، واستعاضت عنه بفكرة المجال الكهرمغناطيسى العام أو الممدود الذى يسبغ على ذلك العالم الغامض شيئاً من الحقيقة .

ولو لم يكن فى الوجود أثير عالمى يملأ أرجاءه ، لما كانت هناك حركة مطلقة بحال من الأحوال (كحركة الضوء مثلا) . ولهذا يقول أينشتين : إننا نستطيع الكلام فقط عن حركة أى جسم مادى بالنسبة إلى جسم آخر ، أو أى مجموعة من المحاور يمكن الرجوع إليها بالنسبة إلى محاور أخرى . ويحق للراصدين اللذين ينتمى أحدهما إلى مجموعة من هذه المحاور ، وينتمى الآخر إلى المجموعة الأخرى ، أن يقول أى منهما دون تمييز : « إنى فى حالة السكون ، أما ذلك الشخص الآخر فهو يتحرك ».

ومعنى هذا كله أنه إذا لم يكن هناك أثير عالمى يمدنا بجهاز كونى كأصل يمكن أن يرجع إليه فى حالة الحركة عبر الفضاء ، لانعدمت الوسيلة التى نميز بها مثل تلك الحركة ، وتكون أى عبارة متعلقة بها هى فى الواقع بمثابة الهراء الفيزيائى .

ولهذا السبب أخفقت التجارب التى قصد بها إيجاد السرعة المطلقة للأرض بالنسبة للأثير العالمى باستخدام سرعة الضوء ، فيما يعرف باسم تجربة « ميلكسون ومورلى »

وتقول النسبية بأن الشحنات الكهربية أو المغناطيسيات يلزم أن تحاط بنوع من المادة الخفيفة التى لها ثقل صغير جدا ، وهذا النوع من المادة مهما يبلغ من الخفة يكون كثيفاً نسبياً بجوار تلك الشحنات أو المغناطيسيات ، ثم تقل كثافته إلى أن تبلغ العدم على البعد الذى تختفى فيه القوى الكهربية أو المغناطيسية . وكذلك صورت النسبية أشعة الضوء على هيئة مجار متذبذبة دافقة من تلك « المادة » ، تنبثق من الأجسام المضيئة (تماماً كما تنبثق مجارى المياه من خراطيم الحديقة) مندفعة عبر فضاء فارغ تماماً .

وهكذا يرى القارىء أنه بينما افترض العلماء أولا أن الأثير العالمى إنما يوزع توزيعاً منتظماً ومتجانساً فى الفضاء الكونى ، وصوروا لنا المجالات الكهربية والمغناطيسية كمجرد تشويه طارئ على هذا التوزيع ، عادوا فاعتبروا وجود « المادة الأثيرية » الجديدة مقصوراً على المناطق التى توجد فيها القوى الكهربية والمغناطيسية ، وهى لا تعتبر حاملة لتلك القوى بقدر ما تعتبر بمثابة القوى نفسها متجسدة . ولا سبيل إلى إظهار الصفات الطبيعية لتلك المادة باستخدام تعبيراتنا القديمة التى على غرار المرونة واللزوجة والتوتر السطحى . . . ونحوها مما لا يستخدم إلا فى وصف الأجسام المادية المبنية من الذرات والجزيئات . ولكن باستخدام معادلات مكسويل التى تصف لنا جميع دقائق التأثيرات الكهرمغناطيسية وتحرر العقل البشرى من نير التركيب المادى للضوء .

ومن روائع النسبية معادلتها الكتلة بالطاقة . فالطاقة التى تصحب حزمة من الإشعاع المنطلق على هيئة ضوء مثلا يمكن أن تساوى :

ك . ا٢

حيث ك هى كتلة هذا الإشعاع ، وا هى سرعة الضوء .

ويدعى بعض الناس ، خصوصاً ممن دأبوا على تبسيط العلوم ، أنه كان من نتائج النسبية وقانون أينشتين هذا المشهور والمعروف باسم (قانون معادلة الكتلة بالطاقة) أن خطا البشر سريعاً نحو صناعة القنابل الذرية . ونحن تبعاً لما جاءت به

النسبية نستطيع أن نقرر أن الطاقة الكلية التى تنطلق من قنبلة ذرية من ذوات العشرين ألف طن (من الديناميت) تزن نحو جرام واحد فقط ، وأن هذه الكتلة الصغيرة تنتج من الطاقة قدراً يكفى لإحداث الدمار الذى يحدثه عشرون ألف طن من الديناميت ! ، ولكن لم تكن هذه المعادلة هى الخطوة الأصيلة فى صناعة القنابل الذرية ، ولم يكن الدور الذى لعبه أينشتين فى هذا الصدد هو العلاقة :

ى = ك ا٢

التى أخرجها للناس ، وإنما كانت هنالك توجيهات أخرى ومحاولات وآمال إبان الحرب العالمية الثانية تمخضت عن استغلال الطاقة الذرية .

وعند ما درست خصائص الفضاء الكونى فسر أينشتين شتى التأثيرات الناجمة عن الجاذبية بأنحاء الفضاء ، وبذلك وضع أسس النظرية النسبية العامة . ومن أهم نتائج نظرية أينشتين للجاذبية :

١ ـــ زحزحة الضوء عن مساره فى خط مستقيم فى مجال الجاذبية .

٢ ـــ دراسة كافة حركات الأجسام المادية فى عالم الأبعاد الأربعة ، وهو عالم ينحنى حيثما توجد مجالات الجاذبية . ويلزم أن تكون الخطوط التى تمثل تاريخ حركة أى جسم مادى فى عالم الأبعاد الأربعة أى « الخطوط العالمية » للجسم . . نقول يلزم أن تكون هذه الخطوط « مسحية » أى إنها أقصر الخطوط ، ويمكن حسابها على أساس نظرية النسبية الخاصة بمجال الجاذبية .

وتم النصر المبين لنظرية النسبية عند ما أمكن فى ضوئها تفسير الخلاف الحادث بين قياس الخلل أو الاضطراب الذى تحدثه الكواكب على مسار عطارد ، وحساب هذا الاضطراب على أنه قلقلة بحسب قوانين نيوتن فى الجاذبية .

وهكذا نرى أن نتائج أعمال أينشتين التى أمضى فيها حياته تمخضت عن تحويل جانب كبير من الفيزياء إلى هندسة . فالزمن صار رفيقاً رابعاً لأحداثيات المكان الثلاثة ولا يفارقها ، وفسرت قوى الجاذبية على أنها نتيجة لانحناء عالم الأبعاد الأربعة هذا ، ولكن بقيت القوى الكهربية والمغناطيسية خارج إطار هذه الفكرة الهندسية .

وحاول أينشتين دون جدوى حتى موته عام ١٩٥٥ أن يصل إلى حل ما يطلق عليه اسم « نظرية المجال الموحد» أو النظرية التى توحد مجالى الجاذبية والكهرمغناطيسية

على أساس هندسى واحد .

وتؤدى ميكانيكا النسبية إلى الاحتمال الرياضى بوجود عالمين مختلفين ؛ أحدهما « طبيعى » والثانى عالم غريب « بليد » فيه كتلة الأجسام سالبة . ونحن نستطيع أن نعتبر هذا العالم الأخير مجرد خيال أو تصور تمخض عنه حل معادلات أينشتين ، إلا أن المسألة تعقدت عندما ظهرت نظرية الكم التى سيأتى ذكرها فيما بعد ، ونجح موريس ديراك فى توحيد النظريتين النسبية والكم والجمع بينهما .

الفيزياء الحديثة وميادينها المختلفة :

فى أواخر القرن التاسع عشر بدأت الدراسات المعملية المتعلقة بتركيب المادة من لبناتها الأولية (الذرات) فى الظهور ، وذلك إثر اكتشاف أشعة المهبط على يد السير وليم كروكس ودراسة مكوناتها (الكهارب) على يد السير ج . ج . طومسون الذى بعد أن أثبت وجود الكهارب عين كتلة الكهرب الواحد بما يساوى $٩,٠ \times ١٠^{-٢٠}$ جراماً ، وكذلك مقدار شحنته السالبة بما يعادل $٤,٧٧ \times ١٠^{-١٠}$ وحدة كهربية استاتيكية . وفى تلك الحقبة تمت كشوف عديدة هامة لعب عامل المصادفة أهم الأدوار فى كثير منها ، مثل اكتشاف كروكس للأشعة السينية .

والصورة التى أعطاها ج . ج للذرة هى على هيئة كرة بداخلها مادة ثقيلة مشحونة بالكهربية الموجبة مع عدد من الكهارب الصغيرة المنتشرة خلالها على غرار انتشار بذر البطيخة الأسود فى لحمها الأحمر . وأعطتنا هذه الصورة « نموذجاً ساكناً » للذرة ، وهو الذى معه تكون الكهارب فى حالة من السكون فى أوضاعها المتزنة .

وعند ما حسب ج . ج الأوزان الذرية للعناصر أثبت وجود ذرات للعنصر الواحد مختلفة الكتلة ، وأطلق عليها اسم « النظائر » ، ومعناها أنها تحتل نفس المكان فى جدول مندليف . وتبعاً لقانون أينشتين الخاص بمعادلة الكتلة بالطاقة يلزم أن يكون وزن المجموعة المكونة من جسيمات متعددة أقل من وزن الجسيمات الأصلية بمقدار يعادل ما بينها من طاقات الترابط مقسومة على $ا^{٢}$. ومعنى ذلك أن الفرق بين كتلة ذرة مركبة ومجموع كتل مركباتها يدلنا على قيمة الطاقة التى تم تضمينها فى عمليات التكوين .

وعند ما أراد رذرفورد أن يسبر غور الذرة من الداخل ليدرس مدى صحة نموذج طومسون الذى لم يعجبه رأى أن يصوب جزءاً من جسيمات الفا على صفائح رقيقة جداً من المعدن ، فعندما يقع جانب منها تحت تأثير الأجزاء المشحونة فى الذرة يصبح لا مفر من زحزحتها بعض الشيء عن مساراتها الأصلية ، وتتضمن محصلة تشتت الحزمة بهذه الطريقة المعلومات الوافية الخاصة بتوزيع الشحنات الكهربية داخل الذرة ، وعندما أجرى تجاربه وجد أن الشحنة الموجبة وكتلة الذرة تقتصران على حيز صغير جداً هو مركزها ، أسماه رذرفورد « النواة » . وهكذا ظهرت صورة جديدة للذرة مكونة من النواة ذات الكتلة المشحونة بشحنة كبيرة والكهارب التى تسبح من حولها تماماً كما تسبح مجموعة الكواكب السيارة من حول الشمس ، غير أن الكهارب تمسكها قوى التجاذب الكهربية ، أما الكواكب فالذى يمسكها قوى الجاذبية العالمية لنيوتن . ونموذج الذرة هذا هو النموذج الذى نستخدمه اليوم .

وعند ما عملت محاولة لاستخدام قوانين الفيزياء التقليدية الأساسية التى طبقت بنجاح فى مسائل الحرارة والغازات ، وعلى رأسها قانون تساوى توزيع الطاقة على الأمواج الكهرمغناطيسية ، أدى ذلك التطبيق إلى نتائج خاطئة ووهمية تماماً . ولم يستطع أحد إنقاذ الموقف حتى أعلن ماكس بلانك فى آخر أعوام القرن التاسع عشر أن جميع أنواع الإشعاع الكهرمغناطيسية لا تعتبر بمثابة الموجات المتتابعة بصفة مستمرة ، وإنما هى حزم متفردة من الطاقة ، لكل حزمة منها قدر معلوم من تلك الطاقة يتوقف على ذبذبة الحزمة لها ، وإن الطاقة ى = هـ ٨ حيث هـ هو ثابت الكم ، وكان ذلك هو بدء مولد نظرية الكم لبلانك الذى صاغ لنا معادلته لتوزيع الطاقة فى الإشعاع الحرارى ، التى تركز أغلب الطاقة وتقصرها على الموجة المتوسطة ، وتكاد تجعل نصيب الموجات القصيرة لا شيء .

وفى أوائل القرن العشرين بدأ أينشتين استخدام فكرة الكم الضوئى فى تفسير الظاهرة (الكهرضوئية) أو ظهور الشحنات الموجبة على أسطح المعادن التى يتساقط عليها الضوء ، وعلى الأخص الأشعة فوق البنفسجية نتيجة انطلاق الكهارب من تلك الأسطح المضاءة . ولما طابقت نظرياته الحقيقة من واقع المشاهدة كان ذلك بمثابة السند القوى المتين الذى حقق فكرة بلانك الأصلية المتعلقة بكم الطاقة الإشعاعية .

ومن بين القرائن الهامة التى أيدت نظرية الكم ما ورد ضمن أعمال «آرثر كمتن» بما يعرف علمياً باسم (ظاهرة كمتن) التى تقول إنه فى عملية التشتت التى تحدث للأشعة السينية تكون لوحدات الكم الخاصة بها والتى تنحرف بزوايا كبيرة، كمية أصغر من الطاقة، ومن ثم طول موجة أكبر. ولقد أيدت التجارب التى أجراها كمتن تأييدا تاماً هذا القول.

وسريعاً ما اتضح أن النموذج الأصلى لذرة بور يحوى مسارات كم دائرية متحدة المركز يجب تعميمها بإقامة بعض القطاعات الناقصة بعد إسباغ صفة الكم عليها. وهكذا ازداد الوضع تعقيداً رغم أنه طابق إلى حد بعيد الحقيقة المشاهدة. وهكذا لم تعد الذرة شبيهة تماماً بمجموعة الكواكب الشمسية.

وعند ما تحمل النواة شحنة أكبر، فى العناصر الثقيلة، يتزايد عدد الكهارب، كما أنه نظراً لكبر قوى التجاذب التى تؤثر بها النواة تتقلص أقطار كافة المسارات، بمقادير تتزايد على التدريج كلما اقتربنا من العناصر التى تعظم أرقامها الذرية. وعندما تساءل العلماء: كيف تستطيع الأعداد الكبيرة من الكهارب التى فى العناصر الثقيلة أن تتلاءم مع مسارات الكم التى تنكمش بهذا الشكل؟ لم تجب الفيزياء التقليدية القديمة عن هذا السؤال إلا بطريقة تافهة. وهنا ظهر مبدأ ولفجانج ياولى الذى يقول بأنه لا يمكن لأى مدار من مدارات الكم أن يتضمن أكثر من كهربين اثنين فقط. ويتطلب المبدأ فى حالة ملء هذين المحلين وجوب تضمين الكهارب التالية ضمن المسارات الأخرى. وعند ما تمتلىء كل المسارات التى فى قشرة ما، يبدأ ملء مسارات القشرة التى تليها (تنتمى إلى مستوى أعلى من الطاقة).

وبعد أن كانت الكهارب تعتبر بمثابة النقط المشحونة بالكهربية السالبة، أدخل فى الاعتبار أنها على هيئة مغناطيسيات دقيقة لها عزوم مغناطيسية. وبذلك توجد قوتان: القوى الكهربية التى تؤثر فى مداراتها، ثم القوى المغناطيسية الناجمة عن لفها أو دورانها حول نفسها.

ولقد أمكن البرهنة على أن الكهربين اللذين ينطلقان فى نفس المدار يجب أن يلفا فى اتجاهين متضادين. ونظراً لأن الكهارب التى تلف فى اتجاهات متضادة تعطى مجالات مغناطيسية ضعيفة، فإنها تحدث تغييرات طفيفة على مسارات بعضها

بعضاً ، ونحن نقول الآن إن أى كهربين سمح لهما من الأصل بالانطلاق فى نفس المسار (حسب مبدأ باولى) يأخذان فعلا مسارين مختلفين ولو بقدر يكاد لا يذكر . وعلى ذلك فمن المعقول أن ننظر إلى المسارات المسموح بها كأزواج متقاربة انفصلت تحت تأثيرات مغناطيسية ضعيفة ، وعلى هذا النحو تم تعديل مبدأ باولى ، أقصد الاستبعاد سابق الذكر .

وفى عام ١٩٢٤ تقدم لويس دى برولى برأى خطير للغاية ضمنه رسالة الدكتوراه التى تقدم بها لجامعة باريس فى الفيزياء النظرية ، فحواه أن حركة الجسيمات المادية يصحبها ويقودها نوع خاص من الموجات الطائرة التى تنتشر فى الفضاء مع تلك الجسيمات : وعلى ذلك يمكن اعتبار مدارات الكم المختارة فى نموذج بور للذرة على أنها تلك المدارات التى تحقق وجوب تضمين طولها عدداً صحيحاً من تلك الموجات الطائرة : موجة واحدة فى مسار الكم الأول ، وموجتان فى المسار الثانى . . . إلخ وهكذا اكتسبت ميكانيكا الكم للجسيمات خواص تشابه أمواج الصوت والضوء .

وفى غضون عام ١٩٢٦ تمت صياغة آراء دى برولى على أساس رياضى قويم بمعرفة اروين شرودنجر فيما يعرف باسم (معادلة شرودنجر) التى تستخدم فى حركة الجسيمات تحت أى مجال من مجالات القوى . وبدلا من مسارات الكم الدائرية أو التى على هيئة قطاعات ناقصة أصبح داخل الذرة يوصف بما يعرف باسم دوال فاى التى تمثل الأنواع المختلفة من أمواج برولى الممكن وجودها فى الفضاء المحيط بنواة الذرة .

وفى نفس تلك الفترة ظهر بحث آخر حول نظرية الكم أخرجه فيرنر هيزنبرج أساسه أن الكميات الميكانيكية التى على غرار الوضع والسرعة والقوة إلخ . . . لا تمثل بالأرقام العادية ولكن بوساطة تراكيب رياضية معنوية يعرف الواحد منها باسم المصفوف أو (المتركس) . وسرعان ما تبين أن مصفوفات هيزنبرج هذه إنما تمثل حلول معادلات شرودنجر . ويمكن للمرء عندما يحاول حل المسائل المختلفة المتعلقة بنظرية الكم أن يستعمل الميكانيكا الموجية ، أو الميكانيكا المصفوفات ، على التبادل .

وكان طبيعياً أن يتساءل العلماء عن المعنى الطبيعى لموجات دى برولى التى

تقود الجسيمات المادية فى تحركاتها: هل هى حقيقية كموجات الضوء مثلا؟ ، أو هى مجرد فكرة رياضية لتصف لنا ظواهر عالم الذرة؟. وبعد سنوات من صياغة الميكانيكا الموجية أجاب عن هذا السؤال و . هيزنبرج الذى عمد إلى معالجة المشكلة من أساسها فوجد أن الراصد لأية ظاهرة ومعداته كلاهما جزء يتكامل مع الظاهرة ذاتها ، وبرهن هيزنبرج على أن حاصل ضرب عدم التثبت فى الوضع والسرعة لا يمكن أن يقل فى القدر عن ثابت بلانك مقسوماً على كتلة الجسم ، أى إن :

$$\Delta \text{ع} \cdot \Delta \text{س} \geq \frac{\text{هـ}}{\text{ك}}$$

وعمل بور على تحويل مبدأ هيزنبرج هذا إلى نوع جديد من فلسفة الفيزياء، ونجم عن ذلك تغيير جوهرى فى أفكارنا الخاصة بعالم المادة ، وهى الأفكار والآراء التى نكتسبها من تجاربنا العادية منذ الطفولة ، إلا أنها سمحت بفهم وهضم أغلب معضلات الفيزياء الذرية وألغازها . أما ألبرت أينشتين فقد تنكر لهذا المبدأ ولم تسمح فلسفته التى انصبت على تحديد الأشياء بالسمو بعدم التثبت إلى مرتبة المبادىء العلمية . . . وراح يبحث عن المتناقضات فى عدم التثبت الخاص بفيزياء الكم ، إلا أن جهوده فى هذا الباب أدت إلى تقوية مركز المبدأ بدلا من إضعافه ، إلا أنه حتى آخر يوم فى حياته رفض قبول المبدأ ، وظل يأمل أن تعود الفيزياء من جديد إلى وجهة نظر إمكان التحديد فى يوم من الأيام .

وبعد ظهور نظرية الكم بسنوات معدودات تصدعت رؤوس علماء الفيزياء النظرية فى محاولة توحيد نظرية النسبية ونظرية الكم هذه والجمع بينهما . واعتبرت معادلة شرودنجر الموجية الكهرب كنقطة ، ولم تسفر شتى المحاولات التى عملت من أجل استخدام تلك المعادلة فى حالة الكهرب الذى يلف مكتسباً خواص المغناطيس الصغير عن أية نتيجة .

وفى عام ١٩٣٠ نشر موريس ديراك معادلته المشهورة التى تحمل اسمه (معادلة نسبية الموجية أو توحيد النسبية والكم) ، وهى رغم صعوبتها وعظم تعقيدها تسمح لنا بصيد عصفورين بحجر واحد : فهى من ناحية تتمشى مع جميع مستلزمات النسبية واشتراطاتها ، وهى من ناحية أخرى توصل إلى أن يبدو الكهرب

كأنما هو نحلة صغيرة ممغطسة تلف وتدور .

وقد أدى توحيد النظريتين (النسبية والكم) على يد ديراك إلى ظهور العالم الغريب ، الذى فيه الطاقات سالبة والكهارب بليدة وكتلها سالبة من جديد بشكل جدى . وتصور ديراك فيما تصور أن فقد الكهرب البليد معناه ظهور البروتون على هيئة فقاعات أو ثقوب ، لأن فقد الكهربية السالبة معناه كسب لكهربية موجبة ، إلا أنه عجز عن تفسير كتلة البروتون التى تصل إلى أضعاف أضعاف كتلة الكهرب . والذى زاد الطين بلة حسابات باولى التى أدت إلى البرهنة على أنه إذا كان البروتون بحق يمثل فقاعته فى محيط ديراك الذى يعج إلى درجة الإشباع بكهارب « بليدة » ، فإن ذرة الأيدروجين لن تبقى إلا خلال فترة تكاد لا تصل إلى عشر معشار الثانية .

وفى عام ١٩٣١ اكتشف كارل أندرسون فى أمريكا (خلال تجاربه على الأشعة الكونية باستخدام حجرة التكاثف لوسلن) وجود الكهرب الموجب الشحنة (البزترون) ، والمعروف أنه يمكن إنتاج الزوج المكون من كهرب موجب وآخر سالب عن طريق تصادم كم الضوء ذى الطاقة العالية بنوى الذرات . وعند ما تنطلق الكهارب الموجبة خلال المادة العادية تنعدم من الوجود بتصادمها مع الكهارب العادية ، فى حين تنطلق الطاقة المعادلة لكتلتيهما على هيئة فوتونات لها طاقات عالية . وهكذا اعتبرت البروتونات بمثابة الثقوب فى فضاء خلا خلواً تاماً من المادة .

وسريعاً ما اتجهت أنظار العلماء إلى البحث عن البروتونات السالبة التى يمكن أن يكون وضعها بالنسبة إلى البروتونات العادية الموجبة الشحنة شبيهاً بوضع الكهرب الموجب (البزترون) بالنسبة إلى الكهرب العادى (الإلكترون) ، واستخدمت فى سبيل ذلك (المعجلات) أو الأجهزة التى تعمل على إكساب الجسيمات الأولى عجلات تصاعدية عظمى تحت تأثير مجالات كهرمغناطيسية ، لتقذف بها النواة وخصوصاً أن إنتاجها (أو تحطيمها) إنما يتطلب طاقة تعادل أضعاف أضعاف الطاقة اللازمة لإنتاج الكهرب بسبب كتلة البروتون الكبيرة بالنسبة إلى كتلة الكهرب. وفى أكتوبر عام ١٩٥٥ أعلن نفر من علماء أمريكا الذين يشتغلون بهذه المسألة أنهم شاهدوا البروتون السالب ينطلق من الهدف عندما أطلقوا عليه قذائف طاقتها

٦½ بلايين إلكترون ڤولت .

وفى خريف عام ١٩٥٦ اكتشف النيوترون المضاد* . وهكذا توافر الدليل على وجود جسيمات أولية مضادة للكهرب ، والبروتون ، ثم النيوترون ، مما يجعل احتمال تكوين المادة المضادة من هذه الجسيمات أمراً متوقعاً . ومن المعلوم أن الذرة التى تمثل أصغر لبنات المادة تتكون من النواة ويكاد يتركز فيها الوزن . ويدور من حول النواة فى محيط أو عدة محيطات خارجية ، كهرب أو عدد من الكهارب تعتبر كتلتها صغيرة بالنسبة إلى كتلة النواة . وبصفة عامة تتكون نواة الذرة من عدد من البروتونات وآخر من النيوترونات . وأبسط الذرات تركيباً على الإطلاق ذرة الأيدروچين ؛ إذ تتكون نواتها من مجرد بروتون واحد ، ويدور فى محيطها الخارجى إلكترون واحد . أما ذرة الهيليوم فقوامها اثنان من البروتونات وزوج من النيوترونات فى النواة ، كما يدور فى محيطها الخارجى زوج من الكهارب . ويمكن على أبسط الفروض اعتبار النيوترون المتعادل كهربياً كأنه بروتون موجب التكهرب اتحد به كهرب سالب .

ولما اكتشف النشاط الإشعاعى لبعض المواد على يد بكريل ثم مدام كورى ، أدى ذلك بعد نحو نصف قرن إلى أن عرف أتوهان ظاهرة انشطار اليورانيوم .

وفى بداية ذلك القرن توصل رذرفورد ومساعده سودى إلى أن أساس النشاط الإشعاعى هو التحول التلقائى لعنصر كيموى إلى عنصر آخر . وقد أمكن تقسيم المواد المشعة إلى « عائلات » أربع بحسب أوزانها الذرية التى تمثلها القيم : ٤ ن + ١ ، ٤ ن + ٢ ، ٤ ن + ٣ ، ٤ ن ، إلا أن العائلة ٤ ن + ١ لا تتوافر فى الطبيعة ، ولكن يمكن إنتاجها صناعياً . وقد جعل اليورانيوم القابل للانقسام أو الأكتينيوم من الممكن تطوير صناعة القنابل الذرية والمفاعلات النووية وهو ينتمى إلى النوع (٤ ن + ٣) .

واتضح أن النوى عبارة عن تركيبات ميكانيكية معقدة ؛ إذ تتكون من عدة جسيمات منها البروتونات . وعند ما افترض وجود كهارب داخل النواة الذرية أدى

* ولا نقول النيوترون السالب لأنه لا شحنة له ، والسبيل الوحيد الذى نميز به النوعين هو أنهما عند ما يتقابلان يفنى أحدهما الآخر . (المترجم)

هذا الافتراض إلى مصاعب جمة من وجهة نظير نظرية الكم . ثم ظهرت فكرة وجود النيوترونات وأمكن إثبات ذلك عملياً داخل معمل كافندش . واستعمل فرمى لفظ نيوترينو تصغيراً لمعنى النيوترون .

وبدأ رذرفورد تجاربه فى تفجير نوى الذرات وتمهيد الطريق لإنتاج القنابل الذرية رغم أنه لم يتنبأ بهذا التطور . وتم بناء أول محطم للذرة وهو الفانديجراف الذى يعمل على أساس الكهربية الساكنة ، ثم بنى السيكلترون وهو يتكون أساساً من غرفة دائرية من المعدن مقسمة إلى نصفين وموضوعة بين قطبي مغناطيس كهربى قوى جداً ، يكسب الجسيمات الأولية طاقات حركة عظمى بما يعطيها من عجلات . ويصف لنا الكتاب فى تسلسل جميل أخاذ ، فى الفصل الأخير ، جميع الخطوات التى تمت إلى حين تفجير القنابل الذرية :

ملاحظات هامة :

ولقد كنت أرجو أن أضمن ترجمتى لهذا الكتاب النفيس من الوجهتين العلمية والتاريخية نفس الألفاظ التى استخدمها علماؤنا العرب فى القدم عند ما ألفوا الكتب وصنفوها أو نقلوها عن الإغريق ، إلا أن الكتاب تم ، وإذا بمعظم الألفاظ والمصطلحات العلمية التى أوردتها فيه مستحدثة (أى وليدة هذا العصر) مما درجنا على استعماله فى جامعاتنا العربية . وكان طبيعياً أن أتخير بعض الألفاظ التى تعودنا استخدامها فى لغة التدريس . وسيجد القارئ أن بعض هذه الكلمات تشتق من اللفظ الأوروبى أو المتداول عالمياً . ومهما يكن من شىء فإنه عند ما يسير ركب ترجمة العلوم بطريقة تطمئن لها النفوس وتنقل المراجع الأصيلة إلى العربية يكون ذلك وحده كفيلا لتثبيت قواعد اللغة العربية ومصطلحاتها فى ميدان العلم . هذا وقد استخدمت كذلك بعض الحروف فى التعبيرات الجبرية والهندسية ونحوها . وكان لزاماً إدخال بعض الحروف اليونانية مثل: $\propto$ ، β ، δ ، λ . . . وهى كلها تدل على معان ثابتة فى كتب العلم ومراجعه الأجنبية بشتى أنواعها . والحق أن الفيزياء أصبحت من العلوم التطبيقية التى تعالج كثيراً من مشاكلنا الحديثة مثل : التنبؤ الجوى ، والطبيعة الجوية ، والطاقات الإشعاعية المختلفة ، والذرية . . . إلخ .

وسيجد القارئ بين الفينة والفينة متعة وحلاوة وسط ما قد يبدو من جفاف المعلومات العلمية ، وذلك خلال الأمثلة الرائعة لحياة العلماء المرموقين ، وما كان لهم من طباع وصفات يعتبر بعضها فى مرتبة الخروج عن المألوف ، من أمثال نيوتين وكافندش وأمبير وفارادى . ولن أتعرض لهذه الناحية من حياة العلماء الخاصة فى مقدمتى حتى أترك القارئ متشوقاً إلى قراءتها ، متطلعاً إلى الوقوف عليها فى متن الكتاب .

ونصيحتى للقارىء هى نفسها تلك النصيحة التى يسديها لقرائهم بعض كتاب العلوم فى مقدمات كتبهم وهى : عليك أن تعاود تلاوة ما يفوتك تتبعه من آن لآخر كلما سرت قدماً فى مطالعتك ، فإنه بذلك تتفتح لك المعانى ويسهل التتبع على التدريج ، وهكذا تستطيع دائماً أن تترك إلى حين أى جزء يستعصى عليك فهمه .

تقديم المؤلف للنسخة العربية

سرنى كثيراً وأبهج فؤادى أن أسمع بترجمة كتابى إلى العربية . ولقد وضحت فى ابتداء الباب الثانى الدور الهام الذى لعبه العلماء العرب عند ما حملوا راية العلم خفاقة خلال العديد من السنين ، منذ سقوط الثقافة الإغريقية حتى بدء عصر النهضة . وإنى لعظيم الأمل فى أن تتابع الجمهورية العربية المتحدة الفتية نفس الخطوات فى هذا المجال وتنهج نهج الإمبراطورية العربية القديمة .

چورچ جاموف

مايو ١٩٦٢

تمهيد

هناك نوعان من كتب الفيزياء : نوع يتخذ كمرجع علمى الغرض منه وقف القارئ على ما تتضمنه الفيزياء من حقائق ونظريات . وعادة يغفل مصنف مثل هذا النوع من الكتب النواحى التاريخية للتقدم العلمى ، ويكتفى فيها من قصص حياة كبار العلماء ومشاهيرهم فى الماضى والحاضر بذكر تاريخ الميلاد والوفاة (أو —) ، وذلك بين قوسين بعد اسم كل منهم . أما النوع الثانى فالأساس فيه معالجة الناحية التاريخية ، وتكاد تقتصر مادة هذا النوع على قصة تطور العلم وتحليل شخصيات العلماء المرموقين ، مع الاكتفاء بسرد قائمة كشوفهم العلمية اعتماداً على الفرض القائل بأن القارىء الذى يعمد إلى مطالعة تاريخ أى فرع من فروع العلم غالباً ما يكون قد درج عليه وألم به من قبل .

غير أنى فى كتابى هذا أسلك مسلكاً وسطاً : فتجدنى مثلا أعالج موضوع محاكمة غاليليو على قدم المساواة مع قوانين (الميكانيكا) الأساسية التى كشفها الرجل وأماط اللثام عنها ، وأعرض ما جمعت بنفسى من معلومات عن نيلز بور على قدم المساواة مع التفاصيل العلمية (لنموذج) بور الذرى . ولقد ركزت النقاش فى كل باب من الأبواب الثمانية التى أوردتها فى كتابى هذا حول شخصية واحدة عظيمة ، أو حول شخصيتين على الأكثر ، مع ذكر بعض علماء الفيزياء المعاصرين فى كل حالة ، وبيان إضافاتهم العلمية التى كان لها أثر ملحوظ فى تشييد صرح العلم . وهذا هو السبب الذى حدا بى إلى حذف كثير من الأسماء التى يجىء ذكرها فى كتب تاريخ الفيزياء ، وكذلك إلى حذف كثير من رؤوس الموضوعات التى تتضمنها حتماً مراجع الفيزياء المعتادة .

ومهما يكن من شىء فإن غرضى من هذا الكتاب هو أن يستشعر القارئ أى نوع من فروع العلم تكون الفيزياء ، وأى نوع من الرجال يكون علماؤها ، بحيث أوفر له من الفائدة والاهتمام ما يحمله على متابعة دراساته فى كتب أخرى تعالج هذا الموضوع بطريقة أكثر تنميقاً وأبدع تنسيقاً .

ويحلو للمرء دائماً عند ما يقرأ تاريخ حياة عظماء الرجال فى الماضى أو الحاضر أن يرى صورهم، ولكن نظراً لما أنا مقيد به من عدد الأوراق المصقولة[1] قررت أن أستغل هذه الأوراق كلها فى عرض صور الظواهر الطبيعية مثل : طيف الضوء ، وحيود الكهرب أو الإلكترون ، وخط سير نوى الذرات فى غرفة محاكاة السحب[2] ، وبذلك كان لزاماً على أن أستبدل رسماً باليد بصور علماء الفيزياء، إلا أننى من ناحية أخرى لست فناناً وتحتم على أن أستعين ببعض الحيل ، فكنت ألجأ مثلا إلى إسقاط ظل تلك الصور المأخوذة على ألواح الزجاج وإظهارها على ورق الرسم[3] ليسهل على تحديد معالمها ، وكانت الرسوم تحمل من الشبه للصور الأصلية ما يبرر عرضها .

وإنى لآمل أن يجد القارئ الشاب (وربما بعض القراء الآخرين كذلك) فى هذا الكتاب دافعاً يحفزه إلى دراسة الفيزياء ، وهذا هو هدفى الأول وغرضى الأساسى .

جامعة كلورادو　　　　　　　　　　　　چورچ جاموف

(١) هى التى تطبع عليها الصور الفوتوغرافية . (المترجم)

(٢) هى جهاز ولسون أو مكثف ولسون المعروف . (المترجم)

(٣) باستخدام مصدر ضوئى أو الفانوس السحرى مثلا . (المترجم)

الفصل الأول

فجر الفيزياء

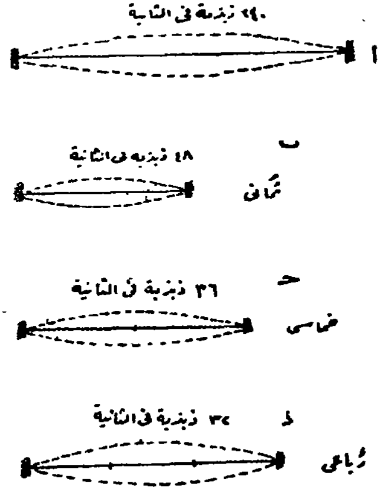
يصعب علينا أن نتتبع أصل علم الفيزياء ، تماماً كما يصعب علينا أن نتتبع أصل كثير من الأنهر العظمى ، فقد يكون منشأ بعضها عدداً قليلا من ينابيع الماء التى تنبثق من تحت أوراق النباتات الاستوائية الخضراء ، أو التى تخرج فى صورة فقط من تحت الصخور التى تكسوها الطحالب فى الإقليم الشمالى القاحل ، وقد يكون المنشأ بعض الجداول ومجارى المياه الصغيرة التى تنحدر على سفح الجبل فى مرح وسرور ثم تتثنى لتتحد وتكون نهراً صغيراً . وتتحد النهيرات بدورها لتكون مجارى مائية تبلغ من السعة ما يجعلها جديرة بحمل اسم نهر . ويتسع مجرى النهر شيئاً فشيئاً ويشتد أزره كلما صب فيه رافد من روافده ، حتى يتمخض فى النهاية عن نهر عظيم — ليكن هو المسيسبي أو الفولجا أو النيل أو الأمازون — يتدفق ماؤه إلى المحيط .

وتناثرت الينابيع التى نشأ عنها النهر العظيم لعلوم الفيزياء على شتى أرجاء الأرض التى سكنها عقلاء البشر وحكماؤهم ، أعنى الرجل المفكر . ويلوح على أية حال أن عدداً وفيراً من هؤلاء الحكماء وجد فى الطرف الجنوبى لشبه جزيرة البلقان حيث كان يقطن قوم يطلق عليهم اليوم اسم « قدماء الإغريق » ؛ ومهما يكن من شىء فإن هذا ما يبدو لنا نحن الذين ورثنا ثقافات « المفكرين الأولين » . ومن الطريف أن نلاحظ أنه بينما أسهمت الأمم القديمة كالبابليين وقدماء المصريين بنصيب وافر فى تقدم علوم الرياضة والفلك ، لم تشارك تلك الأمم بشىء بتاتاً فى النهوض بعلم الفيزياء . ونحن نستطيع أن نعلل هذا النقص الظاهر بالنسبة إلى ثقافة الإغريق بأن آلهة البابليين والمصريين مثلا كانت تعيش غالباً بين النجوم ، على حين كانت آلهة قدماء الإغريق تعيش على ارتفاعات لا تربى على ١٠ آلاف قدم ، فوق قمة جبل أولمبس ، مما جعلها أقرب للمشاركة فى المسائل الأرضية . وتذهب إحدى الأساطير إلى أن لفظ « مغناطيسية » إنما اشتق أصلا من اسم أحد رعاة

الإغريق (مجناطس) الذى أدهشه أن يلاحظ انجذاب طرف عصاه الحديدى نحو حجر (من خامات الحديد)، ملقى على جانب الطريق. وكذلك ربما يرجع الأصل فى لفظة إلكتريسيتى « electricity » أو « كهرباء » إلى الكلمة الإغريقية « إلكترون » أو كهرمان. ولعل السبب كذلك هو أنه عندما حاول أحد رعاتهم تلميع قطعة من الكهرمان بمسحها بوبر رأس من قطيعه لاحظ أن القطعة اكتسبت خاصية عجيبة مكنتها من جذب قطع الخشب الصغيرة المتناثرة.

قانون الأوتار لفيثاغورث

رغم أنه ليس من اليسير إسناد المكتشفات القديمة إلى ذويها على أسس سليمة، فإن ما توصل إليه الفيلسوف الإغريقى فيثاغورث، الذى عاش فى منتصف القرن السادس قبل الميلاد، له من وسائل الإسناد ما بنى على أسس ومستندات قوية. ونظراً لما كان مقتنعاً به من أن العالم يتحكم فيه العدد، شرع يدرس العلاقة التى



شكل (١ - ١)
قانون الأوتار لفيثاغورث

تربط بين أطوال أوتار الآلات الموسيقية التى تحدث فى مجموعتها نغمات متناسقة من الصوت، وعمد إلى استخدام طريقة الوتر المنفرد، الذى يمكن تغيير طوله،

وكذلك قوة الشد فيه الناجمة عن تعليق أوزان مختلفة . وعند ما ثبّت قوة الشد وغيّر طول الوتر وجد أنه يمكن الحصول على أى زوج من نغمتين متوافقتين عند ما تكون النسبة بين طوليهما هى نسبة عددية بسيطة . فمثلا أعطت نسبة الأطوال ٢ : ١ ما كان يطلق عليه اسم الثمانى ، وأعطت النسبة ٣ : ٢ الخماسي ، كما أعطت النسبة ٤ : ٣ الرباعى. وربما يكون هذا الاكتشاف هو أول تمثيل رياضى عبر عن قانون من قوانين الفيزياء ، ويمكن اعتباره ولاشك بمثابة أول خطوة فى تطور مانسميه اليوم « الفيزياء » النظرية. ونحن على حد تعبيراتنا الفيزيائية الحديثة يمكن أن نصوغ ما توصل إليه فيثاغورث بقولنا إن تردد أى وتر (أو عدد الذبذبات التى يعملها الوتر فى الثانية عند ما يكون تحت تأثير شد ثابت) يتناسب تناسباً عكسيًّا مع طول الوتر . فمثلا إذا كان طول الوتر الثانى (شكل ١ — ١ ب) نصف طول الوتر الأول (شكل ١ — ١ ا) يكون تردده ضعف تردد هذا الأخير مرتين . أما إذا كانت نسبة الطول هى ٣ : ٢ أو ٤ : ٣ تكون نسبة التردد ٢ : ٣ أو ٣ : ٤ كما فى شكلى (١ — ١ جـ ، د) . ولما كان الجزء الخاص من مخ الإنسان الذى تصله أعصاب الصوت بالأذن قد بنى بطريقة تجعله يحس بالمرح والطرب عند ما يستقبل نسباً ترددية بسيطة مثل ٣ : ٤ ، على حين هو لا يمرح و « لا يطرب » عند ما تصله نسب ترددية معقدة مثل ١٣٧ : ١٧١ ، (على علماء وظائف الأعضاء الذين سيشتغلون مستقبلا بالمخ أن يفسروا لنا هذه الحقيقة !) ، فإن أطوال الأوتار التى تعطى توافقاً تامًّا يجب أن تحمل فيما بينها نسباً عددية بسيطة .

وحاول فيثاغورث أن يخطو خطوة أخرى ، فذهب إلى أنه نظراً لأن حركة الكواكب « هى من الضرورى توافقية » فإنه من اللازم كذلك أن تحمل أبعادها عن الأرض نفس نسب الأوتار (وهى تحت شد متساو) التى تعطى النغمات السبع الأساسية التى تحدثها القيثارة (الآلة الموسيقية الشعبية لدى قدماء الإغريق) . وربما يعتبر هذا الاقتراح أول مثل لما يطلق عليه فى أغلب الأحيان اليوم باسم « النظرية الفيزيائية لدراسة الأمراض » .

ديموقريطس عالم الذرة

وثمة نظرية فيزيائية هامة أخرى ، يمكن أن نطلق عليها تبعاً لمصطلحاتنا الجديثة اسم « النظرية التى ليس لها أساس من التجربة » ، إلا أنها تمخضت عن « حلم تحقق » ، تقدم بها فيلسوف إغريقى آخر قديم ، هو ديموقريطس الذى عاش وفكر وعلم حوالى سنة ٤٠٠ قبل الميلاد . وهو أول من أخرج للناس فكرة أن كل الأجسام المادية تتركب من مجموعات من الجزيئات التى لا حصر لها والتى تبلغ من الصغر الحد الذى يحول دون رؤيتها بعين الإنسان، وأطلق ديموقريطس على كل من هذه الجزيئات اسم « آتوم atom » أو الذرة ومعناها بالإغريقى غير القابل للانقسام ، لأنه اعتقد أنها إنما تمثل المرحلة الأخيرة النهائية لانقسام أجسام المواد إلى أجزاء أصغر فأصغر .

وكان الرجل يعتقد فى وجود أربعة أنواع مختلفة من الذرات هى : ذرات الحجر وتمتاز بجفافها وثقلها ، وذرات الماء وتتميز بثقلها ورطوبتها ، وذرات الهواء وهى باردة وخفيفة ، ثم ذرات النار المضيئة والساخنة . ويمكن أن تتكون جميع المواد المعروفة من مزيج أو خليط متباين النسب من هذه الذرات الأربع : فتربة الأرض مثلا هى خليط من ذرات الماء والحجر ، وعند ما ينمو النبات من الأرض تحت تأثير أشعة الشمس يتكون خليط ذراته من ذرات الحجر والماء التى بالتربة ، ثم ذرات النار التى تحملها أشعة الشمس . وهذا هو السر فى أن قطع الخشب الجافة التى فقدت ذراتها المائية يمكن أن تحترق فتتصاعد منها ذرات النار (اللهب) لتتخلف وراءها ذرات الحجر (الرماد) . وعند ما توضع أنواع خاصة من الحجر (خامات المعادن) فى اللهب تتحد ذرات الحجر بذرات النار مكونة المواد التى نطلق عليها اسم المعادن . وتحتوى المعادن الرخيصة مثل الحديد على كميات صغيرة من ذرات النار ولذلك لا يغرى منظرها الناس . أما الذهب فإنه يحتوى على أكبر كمية من ذرات النار مما يجعله نفيساً وقيماً . وعلى هذا الأساس إذا أمكن أن يضم أحد من الناس عدداً إضافياً من ذرات النار إلى الحديد الخالص يمكنه أن

يحيله إلى الذهب الثمين ! !

والطالب الذى يدلى بهذه المعلومات كلها فى الامتحان الإعدادى للكيمياء يحصل دون شك على المرتبة الأخيرة، ولكن رغم أن هذه الأمثلة بالذات لا تمثل فيزياء التغيرات الكيميائية ، وكانت أمثلة خاطئة دون شك ، فإن الفكرة الأساسية القائلة بإمكان الحصول على عدد غير محدود من المواد المختلفة الصفات عن طريق تراكيب العناصر الكيموية الأساسية المحدودة العدد ، كانت دون شك فكرة صائبة ، وهى تمثل فى عصرنا هذا أساس الكيمياء . وعلى أية حال كان لزاماً أن يمر زمن قدره اثنان وعشرون قرناً بعد عهد ديموقريطس حتى يجىء دالتن ليضع الأمور فى نصابها .

فلسفة أرسطو

ومن عمالقة دنيا قدماء الإغريق رجل كان يدعى « أرسطو » ، ذاع صيته لسببين : أولا ، لأنه كان عبقرياً بحق ، وثانياً ، لأنه كان وصياً على الإسكندر الأكبر المقدونى ثم مستشاراً له . ولد عام ٣٨٤ قبل الميلاد فى بلدة ستاجيرا التابعة للإغريق فى بحر إيجه ، وكان والده طبيباً لأسرة المقدونى الملكية ، وعند ما بلغ السابعة عشرة نزح إلى أثينا والتحق بمدرسة أفلاطون الفلسفية ، وظل تلميذاً غيوراً لأفلاطون حتى مات هذا الأخير عام ٣٤٧ قبل الميلاد . وجاءت بعد ذلك فترة طالت خلالها أسفار أرسطو ثم عاد ليستقر فى أثينا وينشىء بها مدرسة فلسفية عرف تلاميذها باسم « الرواقيين » كانت تنعقد فى اللوقيون . ومعظم ما بقى من أعمال أرسطو حتى عهدنا هذا هى « الخطابة » التى ربما مثلت مراجع المحاضرات والدروس التى كان يلقيها فى اللوقيون فى مختلف فروع العلم . فهناك مقالات المنطق وعلم النفس التى ابتدعها ، ومقالات العلوم السياسية ، ومسائل عديدة تتصل بعلوم الحياة ، وعلى الأخص ما يتعلق بتقسيم النباتات والحيوانات . وبينما نجد أن أرسطو قد أسهم فى هذا الميدان بنجاح وفير أثر فى العقل البشرى خلال فترة امتدت زهاء ألفى سنة بعد موته ، فربما يكون أكبر ما أسهم به فى مجال علم الفيزياء هو ابتداع اسم العلم نفسه الذى اشتقه من كلمة إغريقية تعنى « الطبيعة » . وحرى بنا أن نفسر

نقص فلسفة أرسطو فى ميدان دراسة الظواهر الطبيعية بأنه لم تتوافر لدى الرجل العظيم العقلية الرياضية التى توافرت لدى كثير من فلاسفة الإغريق الأقدمين ، والغالب أنه نجم عن آرائه فى حركة الأجسام الأرضية والأجرام السماوية من الضرر ما فاق وبز ما ربما نجم عنها من فائدة عادت بالنفع على ركب المدنية . وعند ما ولد التفكير العلمى من جديد فى عصر النهضة ، كان على أمثال غاليليو أن يناضلوا ويجاهدوا بصبر وشدة من أجل التخلص من نير عبودية فلسفة أرسطو التى كانت تعتبر فى ذلك الوقت لدى غالبية الناس بمثابة « آخر ما جاء به العلم » ، بحيث لم يكن هناك أى داع بتاتاً للمزيد من البحث فى طبيعة الأشياء .

قانون الرافعة لأرشميدس

وثمة إغريقى آخر عظيم من العهد القديم ، ظهر بعد مضى نحو قرن بعد أرسطو ، هو أرشميدس (شكل ١ — ٢) ، أبو علوم الميكانيكا ، وقد عاش فى سراقوسة حاضرة إحدى مستعمرات الإغريق فى صقلية . ولما كان أبوه فلكيًّا فقد استهوته الرياضة منذ نعومة أظافره وتعلمها حتى حذقها ، ونجح فى عمل إضافات وابتكارات قيمة فى فروعها المختلفة . وكانت أهم ابتكاراته فى ميدان الرياضة البحث اكتشاف العلاقة التى تربط سطح وحجم الكرة بمحيط دائرتها . والحق أنه تبعاً لوصية أوصى بها ميز قبره بعلامة هى عبارة عن كرة أدرجت داخل الأسطوانة. وفى كتابه المسمى « بساميتس Psammites » ابتدع طريقة كتابة الأعداد الكبيرة جدًّا بأن نسب إلى كل عدد فى الصف(١) مرتبة معينة بحسب وضعه(٢)، واستخدم هذه الطريقة فى كتابة عدد حبات الرمل التى تحتويها كرة بحجم الأرض .

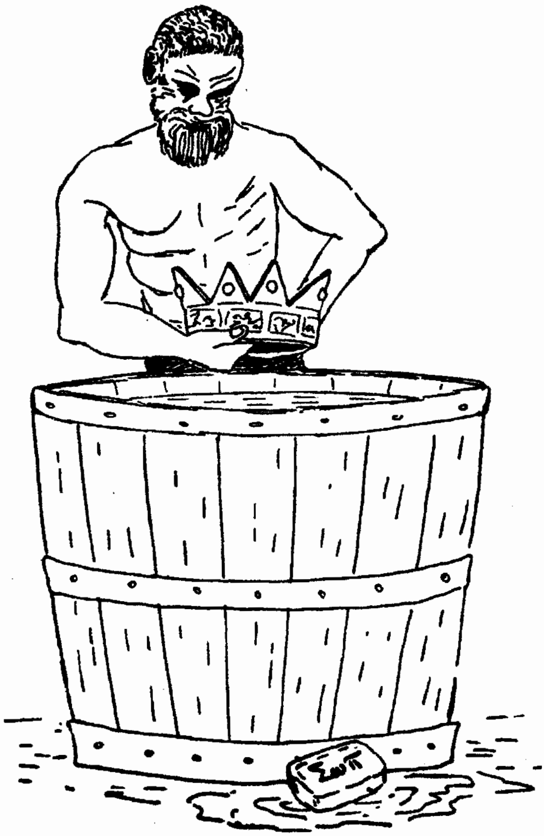
وفى كتابه المشهور « حول تعادل المستويات » — الذى صنفه من جزئين — ابتدع أرشميدس قوانين الرافعة ، وناقش مسألة تعيين مركز ثقل أى جسم معلوم .

---

(١) أى الصف المكون من أرقام العدد المختلفة ، وتكون المرتبة هنا بمثابة الخانة التى نستعملها الآن . (المترجم) .

(٢) تتضمن الطريقة العشرية التى نستخدمها الآن فى توزيع الأرقام على خانات الآحاد والعشرات والمئات ، والألوف . . . (المؤلف) .

إلا أن كتاباته هذه تبدو للقارئ الحديث كأنما صيغت فى قالب ثقيل فيه إسهاب وتطويل ، بحيث يحكى من وجهات نظر عديدة منهاج إقليدس وطريقته فى كتابة كتبه الهندسية .



شكل (١ – ٢)
أرشميدس والتاج

والحق أنه فى عهد أرشميدس كانت الرياضة الإغريقية مقصورة على الهندسة ، أما الجبر فقد ابتدعه العرب بعد ذلك بمدة طويلة ، وعلى هذا الأساس فقد تمت براهين عديدة فى ميدان الميكانيكا وفروع الفيزياء الأخرى عن طريق دراسة الأشكال الهندسية بدلا من كتابة معادلاتها الجبرية (كما نفعل الآن) . وكما فى « هندسة إقليدس » ، التى طالما كدّ فيها وكدح القارىء (أو القارئة) أيام مدرسته (أو مدرستها) ، يصوغ أرشميدس قوانين (الاستاتيكا) (أى دراسة حالات

التعادل) الأساسية ، بأن يحدد لنا « المسلمات[١] » ثم يستنتج منها عدداً من « النظريات » . وفيما يلى مطلع الجزء الأول[٢].

١ — الأوزان المتساوية التى على أبعاد متساوية تكون متزنة، والأوزان المتساوية التى على أبعاد غير متساوية لا تكون متزنة ، ولكنها تميل نحو الوزن الذى يوجد على مسافة أكبر .

٢ — إذا أضيف شىء إلى وزن فى مجموعة متزنة موضوعة على أبعاد معينة، فإن هذه المجموعة تصبح غير متزنة ، وتميل تجاه الوزن الذى حدثت إليه الإضافة .

٣ — وكذلك ، إذا حذف شىء من أى وزن فى المجموعة فإنها تصبح غير متزنة ، إلا أنها تميل تجاه الوزن الذى لم يحذف منه شىء .

٤ — إذا انطبق سطحان متساويان ومتشابهان عند مقارنتهما فإن مركزى ثقلهما ينطبقان كذلك .

٥ — يتشابه وضع مركز الثقل فى أى شكلين متشابهين وغير متساويين . وإنى أعنى بالنقط المتشابهة الوضع بالنسبة للأشكال المتشابهة، تلك النقط التى إذا رسمت منها خطوط مستقيمة لتمر بالزوايا المتساوية ، فإن هذه الخطوط المستقيمة تعمل زوايا متساوية مع الأضلاع المتناظرة .

٦ — إذا اتزن وزنان على بعدين معينين ، فإن أى وزنين آخرين مساويين لهما يتزنان على نفس البعدين (أليس هذا واضحاً وجلياً !)

٧ — فى أى شكل مقعر[٣] الحدود ينحنى مركز ثقله فى نفس الاتجاه داخل الشكل .

ويعقب هذه المسلمات خمس عشرة نظرية مشتقة منها عن طريق التطبيق

---

(١) هى نظائر البديهيات ، إلا أن البديهية قضية بينة بذاتها لا تبرهن ، أما المسلمة فقضية يسلم بها الخصم وتحتاج إلى برهان قد يصعب . (المترجم) .

(٢) سمح بالاستشهاد والنقل فى هذا الباب عن أرشميدس ، بلوتارخ وفتروفيس ، وهيرون وبطليموس باذن ناشرى كتاب A source Book in Greek Science، موريس ر . كوها . ى . داربكن، Cambridge, Mass مطبعة جامعة هارفارد — مقدمة طبع ١٩٤٨ لرئيس وأعضاء كلية هارفارد ، (المؤلف) .

(٣) أى ينحنى طرفه إلى الداخل (المترجم) .

المباشر للمنطق ، وفيما يلى النظريات الخمس الأولى ، مع حذف براهينها ، وذكر تفاصيل برهان النظرية السادسة نظراً لأنها تتضمن القانون الأساسى للرافعة .

النظريات :

١ — الأوزان التى تتزن على مسافات متساوية تكون متساوية .

٢ — عندما توضع الأوزان غير المتساوية على أبعاد متساوية لا تتزن ولكنها تميل تجاه الأوزان الأكبر . . .

٣ — عندما توضع الأوزان غير المتساوية على أبعاد غير متساوية (يمكن أن تتزن) أو هى قد تتزن فعلا ، إذا كان الوزن الأكبر قد وضع على بعد أصغر ..

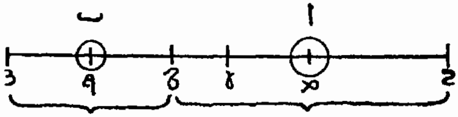
٤ — إذا لم يكن لوزنين متساويين نفس مركز الثقل ، فإن مركز ثقل الوزنين معاً هو النقطة الواقعة على منتصف الخط الواصل بين مركزى ثقلهما . . .

٥ — إذا وقعت مراكز ثقل ثلاثة أوزان متساوية على خط مستقيم ، وكانت على أبعاد متساوية ، ينطبق مركز ثقل المجموعة على مركز ثقل الوزن الأوسط .

ولنعمد الآن إلى بيان برهان النظرية السادسة مع مراعاة تخفيفها شيئاً ما لمصلحة القارىء :

٦ — يتزن الوزنان إذا كانا على مسافتين متناسبتين تناسباً عكسيا مع وزنيهما.

لنفرض أن النسبة بين الوزنين ا ، ب هى نسبة يمثلها كسر [1] يتكون من عددين منطقين ، وأن النقطتين تمثلان مركزى ثقلهما (شكل ١ — ١٣) .



شكل (١ — ٣)
برهان أرشميدس لقانون الرافعة

ارسم خطاً مستقيماً ($\beta\ \alpha$) لينقسم فى النقطة (γ) بحيث تكون :

ا : ب = $\overline{(\gamma\ \beta)}$: $\overline{(\alpha\ \gamma)}$

---

(١) ومعنى ذلك أنها نسبة منطقة بحسب الكسر أى بكسر مثل $\frac{٥}{٢}$ أو $\frac{١١٧}{٣٢}$ أو ٠٠٠٠ (المؤلف) .

وعلينا أن نثبت أن ϑ هى مركز ثقل الوزنين معاً .

وبما أن ا ، ب منطقان فكذلك يكون المستقيمان $\overline{\vartheta\beta}$ ، $\overline{\alpha\vartheta}$.

لنفرض أن $\overline{\gamma\eta}$ هو مقياس مشترك لكل من $\overline{\vartheta\beta}$ ، $\overline{\alpha\vartheta}$. خذ كلا من $\overline{\delta\beta}$ و $\overline{\epsilon\beta}$ يساوى $\overline{\vartheta\alpha}$ ، ثم خذ $\overline{\zeta\alpha}$ يساوى $\overline{\beta\vartheta}$ ، وإذاً فإن $\overline{\beta\vartheta} = \overline{\delta\alpha}$ نظراً لأن $\overline{\alpha\vartheta} = \overline{\delta\beta}$. وعلى ذلك فإن $\overline{\delta\zeta}$ تنصفه النقطة α ، لأن $\overline{\zeta\delta\zeta}$ تنصفه النقطة β . ومعنى ذلك أن كلا من $\delta\zeta$ و $\overline{\delta\epsilon}$ يلزم أن يتضمن $\overline{\gamma\eta}$ مرات عددها زوجى .

وعند ما نأخذ الوزن π بحيث يكون متضمناً فى ا بنفس عدد المرات التى يكون بها $\overline{\gamma\eta}$ متضمناً فى $\overline{\zeta\delta}$ نجد أن :

$$\overline{\gamma\eta} : \overline{\zeta\delta} = \pi : ا$$

وبما أن

$$\overline{\beta\vartheta} : \overline{\alpha\vartheta} = ا : ب$$

$$\overline{\zeta\delta} : \overline{\epsilon\delta} =$$

وينتج أن :

$$\overline{\gamma\eta} : \overline{\epsilon\delta} = \pi : ب$$

أى أن π يوجد فى ب بنفس عدد المرات التى يوجد بها $\eta\gamma$ فى $\delta\epsilon$.

وإذاً فإن π هو مقياس مشترك بين ا ، ب

والآن قسم $\overline{\zeta\delta}$ و $\overline{\epsilon\delta}$ إلى أجزاء يساوى كل جزء منها $\eta\gamma$ ، وكذلك قسم كلا من ا ، ب إلى أجزاء يساوى كل جزء منها π ، فيكون عدد أجزاء ا مساوياً عدد أجزاء $\overline{\zeta\delta}$ ، كما يكون عدد أجزاء ب مساوياً عدد أجزاء $\overline{\zeta\delta}$. ثم ضع جزءاً واحداً من ا فى منتصف كل من الجزئين $\overline{\gamma\eta}$ ، $\overline{\zeta\delta}$ ، وجزءاً واحداً من أجزاء ب فى منتصف كل من الجزئين $\overline{\gamma\eta}$ ، $\overline{\epsilon\delta}$ — على النحو الممثل فى شكل (١ — ٣ ب) .

وبناء على ذلك يكون مركز ثقل مجموعة الأجزاء التى ينقسم إليها ا عند ما توضع على أبعاد متساوية على $\overline{\zeta\delta}$ هو عند α ، التى هى فى منتصف $\overline{\zeta\vartheta}$ ، كما يكون مركز ثقل الأجزاء التى ينقسم إليها ب عند ما توضع على أبعاد متساوية على طول $\overline{\delta\epsilon}$ هو عند β التى هى فى منتصف $\overline{\epsilon\delta}$. ولكن المجموعة من الأجزاء π التى انقسم

* لاحظ أن الرمز : هو علامة النسبة ، كما أن الشرطة العليا تدل على الخط المستقيم . (المترجم) .

إليها الوزنان ا ، ب معاً هي مجموعة متساوية الأوزان وزوجية العدد ، كما أنها موزعة على أبعاد متساوية على طول $\overline{\zeta\epsilon}$. وبما أن $\overline{\zeta\alpha} = \overline{\zeta\beta}$ ، $\overline{\alpha\gamma} = \overline{\beta\epsilon}$ حيث $\overline{\zeta\gamma} =$ ، $\overline{\gamma\epsilon}$ ، و γ هي النقطة المنصفة للمستقيم $\overline{\theta\epsilon}$ ينتج أن γ هي مركز ثقل المجموعة الموزعة على طول $\overline{\delta\epsilon}$. وإذا فإن ا التي تعمل من α ، ب التي تعمل عند β تتزنان حول النقطة γ .

ويلي هذه النظرية في الترتيب النظرية السابقة التي تبرهن على نفس المنطوق عندما يكون الوزنان ا ، ب غير منطقين (أي أصمين) بحسب النسبة*

وكان لاكتشاف المبدأ الذي تعمل به الرافعة وما تبعه من تطبيقات مختلفة آثار ظاهرة في العالم القديم ، كما يتبين لنا من الوصف الذي ساقه بلوتارخ في كتابه « حياة ماركيلوس » — وهو قائد روماني استولى على سراقوسة (أو سيراكيوز) خلال الحرب البونية الثانية[1] ، وكان مسئولا إلى حد ما عن مقتل أرشميدس الذي نجم عن مساهمته في أعمال الدفاع عن المدينة بناء آلات حرب قاهرة . ويقول بلوتارخ في سياق حديثه :

« وكتب أرشميدس إلى هيرون (ملك سراقوسة) ، وكان يمتّ إليه بالقرابة كما كان صديقاً له ، ينبئه بأنه يستطيع إزاحة أي وزن عن موضعه باستخدام أي قدر من القوة يعطى له . وقد شجعته تجاربه وبراهينه المبنية على أسس متينة ، كما سمعنا فيما بعد ، على المجاهرة بأنه إذا كان هنالك عالم آخر واستطاع الذهاب إليه فإنه يستطيع تحريكه ، ودهش هيرون أيما دهشة ورجاه أن يطبق نظريته ويريه كيف يستطيع تحريك أحد الأوزان العظمى باستخدام قوة صغيرة . وعمد أرشميدس إلى سفينة تجارية من ثلاثة طوابق تابعة للأسطول الملكي كانت قد سحبت تجاه الشاطئ بعد مجهود شاق بذله العديد من الرجال ، وبعد أن ساق إليها نفراً من الركاب وملأها بأصناف البضاعة ، وأتم شحنها كالمعتاد ، جلس عن كثب منها ، وفي غير ما جلبة أو ضوضاء شرع يحرك بيديه عدداً من البكرات ، استطاع

* هي النسبة بين الوزنين التي تعتبر غير منطقة مثل $\sqrt{2}$ (المؤلف) — أي إن العددين غير منطقين بحسب الكسر المكون منهما — . (المترجم) .

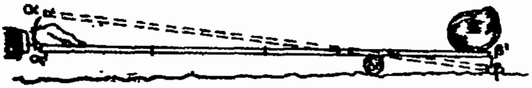
(١) أو حرب قرطاجة (المترجم) .

بوساطتها أن يسحب السفينة نحوه بسهولة تامة — دون أن يبذل مجهوداً يذكر — وكأنما هي تنزلق على سطح الماء وتنساب فوقه انسياباً » .

والحق أن مبدأ الرافعة إنما يلعب دوراً هامًّا جدًّا في شتى نواحي الحياة المختلفة من عتلة الفلاح التي يستخدمها ليبعد بها صخرة كبيرة سائبة إلى آلاتِ اليوم المعقدة التي ابتكرتها الهندسة الحديثة . ويهيئ لنا قانون الرافعة الذى صاغه أرشميدس فرصة إدخال فكرة (ميكانيكية) تختص بالآلات على جانب عظيم من الأهمية تتعلق بالشغل الذى تبذله أى قوة فى أثناء عملها . فإذا فرضنا مثلا أن علينا أن نرفع حجراً ثقيلا — كما فى شكل (١ — ٤) باستخدام عتلة النسبة بين ذراعيها هى :

$$١ : ٣ = \overline{\beta \gamma} : \overline{\gamma \alpha}$$

فإننا نستطيع إنجاز هذه المهمة بالضغط على العتلة بقوة تعادل ثلث قوى الجذب التى تؤثر فى الحجر .



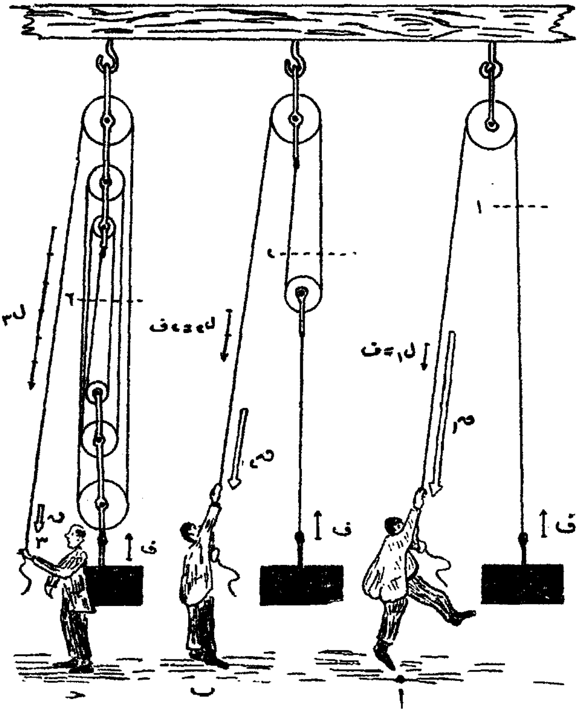
شكل (١ — ٤)

إذا كان طول الذراع الأيسر للرافعة يساوى ثلاثة أمثال طول ذراعها الأيمن فإن حركة الطرف الأيسر ($\overline{\acute{\alpha}\ \alpha}$) تبلغ ثلاثة أضعاف حركة الطرف الأيمن ($\overline{\beta'\ \beta}$)

ويتضح من الصورة أنه عند ما يرتفع الحجر مسافة بوصة واحدة مثلا فوق سطح الأرض ($\overline{\beta' \beta}$) ، تنخفض يد الرافعة مسافة ثلاث بوصات ($\overline{\alpha\ \acute{\alpha}}$) ، ولذلك نستنتج أن حاصل ضرب القوة التى نضغط بها على اليد فى مقدار الإزاحة إلى أسفل يساوى وزن الحجر مضروباً فى إزاحته إلى أعلى . ويعرف حاصل ضرب القوة فى إزاحة نقطة عملها باسم الشغل الذى تبذله هذه القوة . وعلى ذلك فإنه تبعاً لقانون الرافعة الذى وضعه أرشميدس يكون «مقدار الشغل الذى تبذله اليد فى خفض ذراع العتلة الطويل يساوى مقدار الشغل الذى يبذله ذراعها القصير فى رفع الحجر » . ويمكن تعميم هذه العبارة بحيث تشمل أو تتضمن أى نوع من أنواع الشغل الآلى (أو الميكانيكى) المبذول ، فأنت تجد مثلا أن مقدار الشغل الذى

تبذله أجهزة حمل الأثاث فى رفع بيانو كبير خلال ثلاثة طوابق يساوى مجموع الشغل الذى يبذل فى رفع ثلاثة من مثل هذا البيانو خلال طابق واحد فقط[١].

وثمة مجال آخر مماثل يمكن أن يستخدم فيه مبدأ تساوى الشغل المبذول فى طرفى الرافعة ، ويتعلق هذا المجال باستعمال « البكرات » التى استعان بها أرشميدس فى تحريك السفينة العظيمة الثقل التى أثار بها دهشة الملك هيرون . فنحن إذا ماعمدنا عند رفع وزن كبير إلى حمله بحبل يجرى حول عجلة مثبتة فى قائمة من الخشب على النحو الموضح فى شكل (١ — ٥) ، ثم ارتفع الوزن خلال المسافة (ف) التى تساوى طول الحبل (ل) الذى سحبناه ، فإن القوة المستخدمة فى شد الحبل (ق) تكون مساوية للوزن تماماً .



شكل (١ — ٥) مبدأ عمل البكرات

(١) ربما لا تصادف هذه العبارة هوى فى نفوس محترفى نقل الأثاث ، ويجادلون بأن نقل ثلاثة من أجهزة البيانو هى مسألة تتطلب مجهوداً أكبر خلال ضبط عمليات التخييش أى التحبيش ونحوها ، إلا أننا فى الحقيقة نتحدث هنا فقط عن الشغل المرتبط فعلا بعمليات رفع الأجسام الثقيلة . (المؤلف) .

أما إذا استخدمنا عجلتين على النحو الممثل فى شكل (١ — ٥ ب) ، فإنه يجب علينا أن نسحب ضعف طول الحبل الذى سحبناه فى الحالة الأولى ، وبذلك يلزمنا استخدام قوة تعادل نصف قيمة الوزن فقط .

وعندما يوزع عدد من البكرات على النحو الممثل فى شكل (١ — ٥ ج) نجد أن القوة اللازمة لحمل الثقل إنما تعادل سدس قيمة الوزن فقط ، وأن الوزن يرتفع خلال مسافة تساوى سدس الطول المسحوب من الحبل .

قانون الأجسام الطافية لأرشميدس

ربما يكون أروع ما نعرف من كشوف أرشميدس قانونه الذى ينصبّ على نقص أوزان الأجسام المغمورة فى السوائل . ويصف لنا ڤتروڤيس[1] المناسبة التى كانت سبباً فى الوصول إلى هذا الكشف بقوله :

وفى حالة أرشميدس ، برغم أنه توصل إلى كشوف عديدة رائعة فى مجالات مختلفة ، إلا أن من بينها جميعاً يبدو الكشف الذى سأسوقه وأخصه به وليد العبقرية الفذة غير المحدودة . فبعد أن استتب الملك لهيرون فى سراقوسة رأى — نتيجة لظفره وتكليل أعماله بالنجاح — أن يهب أحد المعابد تاجاً من الذهب كان قد نذره للآلهة الخالدة ، وتعاقد لإنجاز صناعته على أجر معلوم ، كما سلم الصانع الذى تعاقد معه وزناً معيناً من الذهب لكى يصنع منه التاج . وفى الوقت المحدد سلم الصانع للملك تحفة فنية رائعة لاشية فيها من صنع يديه ، وكان واضحاً للعيان أن وزن التاج يساوى تماماً وزن الذهب الذى سلمه الملك للصانع ، إلا أنه حدث بعد مضى زمن قليل أن اتهم الصانع باستبدال كمية من الذهب بوزن مكافىء لها من فضة صهرها وأدخلها فى صناعة التاج ، وفكر هيرون دون جدوى فى تلك الإهانة التى وجهت إليه بالغش والتضليل عليه ، ولما أعجزته الحيل ولم يفطن إلى قرينة يثبت بها جريمة السارق طلب إلى أرشميدس أن يدرس المسألة . وصادف أن ذهب الرجل إلى الحمام وقد شغلت باله هذه المسألة ، وعند ما دلف إلى الحوض

---

(١) ڤتروڤيس . « حول الهندسة المعمارية » . (المؤلف) .

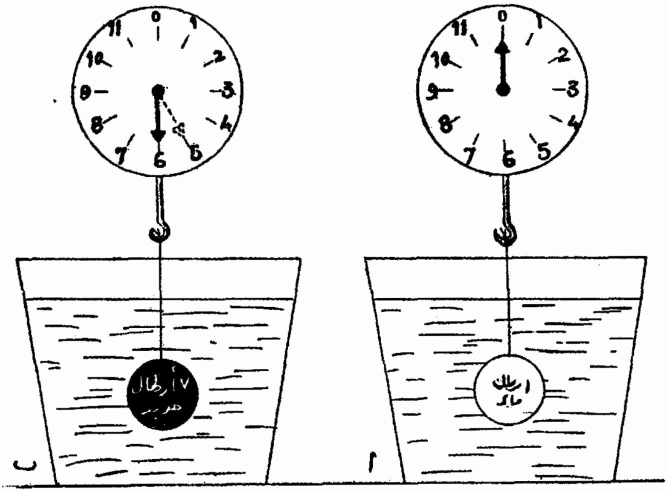
لاحظ أنه كلما غمر فيه جزءاً أكبر من جسده فاض الماء وتدفق من جوانب الحوض ، ولما كان فى تتبعه لتلك الظاهرة إلهام وإيحاء إلى الطريقة التى يحل بها المسألة التى شغلت باله فقد قفز من الحوض دون أن يتأخر لحظة واحدة وراح يجرى عارياً مرحاً إلى بيته ، وهو يصيح بصوت مرتفع ويعلن أنه وجد ضالته المنشودة ، ومكرراً بالإغريقية قوله : « لقد وجدتها ، لقد وجدتها » .

وإذا اعتبرنا هذا الحادث بمثابة الخطوة الأولى فى الوصول إلى اكتشافه ، فالذى يقال إنه أسرع إلى صنع كتلتين تساوى كل منهما وزن التاج ، إحداهما من الذهب والأخرى من الفضة ، ثم عمد إلى إناء كبير ملأه بالماء إلى قمته ، وغمر كتلة الفضة فيه . وبطبيعة الحال تدفق مقدار من الماء حجمه يساوى تماماً حجم كتلة الفضة المغمورة ، وبعد ذلك أخرج كتلة الفضة وملأ الإناء من جديد ، مستخدماً علامة عند الحافة ليصل إليها سطح الماء عند الملء فى الحالتين . وهكذا حصل على وزن الفضة الذى يعادل حجمه حجم مقدار معين من الماء .

وبعد أن فرغ من إجراء تجربته على هذا النحو أعاد إجراءها على كتلة الذهب ، فلما غمرها فى الإناء المملوء إلى العلامة بالماء ثم أخرجها وعين حجم الماء المتدفق ، وجد أن هذا الحجم يقل عن مثيله فى الحالة الأولى بكمية تعادل القدر الذى ينقصه حجم كتلة الذهب بالنسبة إلى حجم كتلة مساوية لها من الفضة . وأخيراً ملأ الإناء إلى العلامة مرة ثالثة وغمر فيه التاج ذاته فوجد أن حجم كمية الماء المزاح زادت على حجم الماء المزاح عندما غمر كتلة الذهب المساوية لها فى الوزن . وفى ظل تلك الحقيقة التى شاهدها — وهى أن حجم الماء المزاح فى حالة التاج يربى ويزيد على حجم الماء المزاح فى حالة كتلة الذهب — لاحظ أن التاج قد صنع من خليط من الفضة والذهب ، وهكذا أوضح تماماً سرقة المتعاقد .

ويعتبر البرهان الذى أعطاه أرشميدس لقانونه فى كتابه « حول الأجسام الطافية » من البراهين العقيمة إلى حد ما ، ورغم هذا فهو صائب تماماً .

ونحن سوف نسوقه هنا بلغة أكثر حداثة لدراسة ما يحدث عند ما تغمر كرة معدنية صلبة فى إناء به ماء (شكل ٦ — ١) — لنفرض أننا بدلا من أن نبدأ بكرة من الحديد نغمر مثلا كرة من (البلاستيك) الرقيق ، ونملؤها بالماء بحيث يكون قطرها



شكل (١ — ٦)

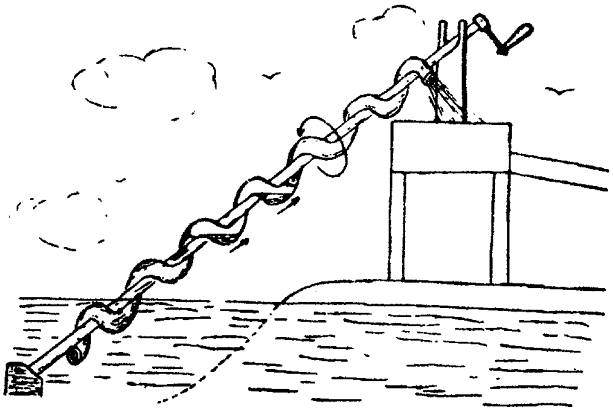
برهنة قانون أرشميدس للأجسام الطافية

مساوياً تماماً لقطر كرة الحديد — شكل (١ — ٦ ا) — ، فبما أن وزن قشرة (البلاستك) يمكن تجاهله ، يتمخض هذا الوضع عن مجرد اعتبار الماء الذى بالكرة جزءاً لا يتجزأ من الماء الذى بالإناء ، وعلى ذلك تكون قراءة المقياس[١] هى الصفر . والآن لنبدل الماء الذى بالقشرة بالحديد — شكل (١ — ٦ ب) الذى يعادل ثقله سبعة أضعاف ثقل الحجم الذى يساويه من الماء . فبما أن رطلا واحداً من الماء يكون محمولا بباقى الماء الذى بالإناء وليعطى قراءة تساوى الصفر ، فإن إبدال الماء بالحديد سوف يضيف فقط ٧ — ١ = ٦ أرطال إضافية ، وهذا هو عين ما يقرأه المقياس فى هذه الحالة . وعلى ذلك نستنتج أن كرة الحديد التى تزن (فى الهواء) سبعة أرطال إنما تفقد من وزنها رطلا واحداً عند ما تغمر فى الماء ، وهو وزن الماء الذى تزيحه . وهذا هو قانون أرشميدس الذى يقول : أى جسم مغمور فى سائل يقل وزنه بمقدار وزن السائل الذى يزيحه الجسم .

(١) الذى يعين الوزن — (المترجم) .

أرشميدس المستشار الحربى

وفوق أن أرشميدس كان رياضيًّا عظيما ومؤسساً لعلم الميكانيكا ، فقد عمل كذلك – على حد تعبيرنا الحديث – « مستشاراً » للصناعة والقوات المسلحة . وخير ما عرف من اختراعاته الهندسية الجهاز المعروف باسم « لولب أرشميدس » المبين فى شكل (١ –٧) ، وهو يستعمل فى رفع المياه . ويلوح أن هذه الطريقة كانت تستخدم على نطاق واسع فى أعمال الرى ، وكذلك فى نزح المياه الجوفية من المناجم .



(شكل ١ – ٧)

لولب أرشميدس الذى يرفع المياه بمجرد إدارته . ولكى تفهم طريقة عمله تصور ما يحدث للأجزاء السفلى من الأنبوبة عند ما تلف ، فإنك تجد اتجاه تحركها إلى أعلى ، أى أن الأنبوبة ذاتها لا تصعد ، ولكن الذى يصعد هو أوضاع نهاياتها السفلى التى تحمل المياه . ويا حبذا لو صنعت لولبا من سلك معدنى مثلا وشاهدت ما يحدث عند ما تديره حول محوره .

والظاهر أن اشتراك أرشميدس فى شؤون الحرب بدأ منذ قام بعرض الرافعة أمام الملك هيرون ، كما يتضح من الوصف الروائى لبلوتارخ فى « حياة ماركيلوس » إذ يقول :

وعندما أذهلت هيرون هذه التجربة ، وأكبر قوة فنه ، أقنع أرشميدس ليجهز له آلات للهجوم والدفاع تستخدم فى حالات الحصار الحربى ، إلا أن الرجل لم يستعملها بنفسه ، لأنه أمضى أغلب حياته فى التخلص من أوزار الحرب

والتمتع بأفراح وأعياد السلام . ولكن فى هذا الوقت يعطى جهازه لأهل سراقوسة مركزاً فريداً ، ويقف بجانب الجهاز صانعه .

ذلك أنه عند ما هاجمهم الرومانيون من البحر والبر أخذ أهل سراقوسة ولم يحركوا ساكناً من الرعب ، فقد خيل لهم أنه ليس ثمة ما يستطيع مقاومة مثل هذا الهجوم الغاشم بمثل تلك القوات الساحقة ، إلا أن أرشميدس هرع إلى آلاته يستخدمها فأمطر القوات المهاجمة من الأرض بمختلف أنواع القذائف ، وبكتل هائلة من الحجارة التى كانت تنقض بسرعة خارقة وسط جلبة وضوضاء تفوقان حدود الوصف والخيال . ولم يكن ثمة ما يقاوم أوزانها ، فحطمت جحافل الذين اعترضوا سبيلها ، وأوقعت بين صفوف المهاجمين الاضطراب . وفى نفس الوقت كانت أعمدة الخشب الضخمة تقذف على السفن فجأة من الأسوار فلا تكاد يغرق بعضها حتى تنقض عليها أوزان ضخمة كانت تهوى من ارتفاع عظيم ، وأمسكت سفن أخرى من مقدمتها بمخالب من حديد أو مقابض تحكى مقابض آلات الرفع (الونش) ، وصعدت فى الهواء ، ثم نكست فى اليم لتغوص فيه وتتسابق بمؤخراتها إلى أعماقه ، أو هى تركت تلف وتدور ، بمحركات فى المدينة لكى ترتطم برصيف البحر العميق الذى يبرز تحت أسوارها ، فيحل بمن فيها من محاربين الويل والدمار عند ما تتحطم السفن تحت الأسوار .

وكثيراً ما كانت تنتشل السفينة من سطح البحر وترفع إلى منتصف المسافة فى الهواء لتترنح هنا وهناك وهى معلقة فى منظر مخيف مرعب حتى يتساقط من فيها متناثرين فى كل مكان . ثم تهوى السفينة فارغة على الأسوار أو تنزلق من المخلب الذى يمسكها . أما الآلة التى كان يعدها مارسيلوس على متن السفن ، والتى كان يقال لها « سامبوكا » لشبه فى الشكل بين مقدمتها وآلة موسيقية كانت تسمى بهذا الاسم ، فقد صوب نحوها حجر يزن عشرة « تلنت » عند ما اقتربت من السور وتبعه حجر ثان وثالث ، وقع بعضها عليها محدثاً دوياً هائلا وموجاً عالياً ومحطماً أساس الآلة حتى أصبحت أثراً بعد عين ، مما حدا بماركيلوس إلى إصدار الأمر إلى سفنه بالتجمع والعودة على جناح السرعة ، وإلى قواته البرية بالتراجع .

* وتسمى كذلك طلنط وتلانتن ، وهى وحدة وزن قديمة تعادل نحو ٥٧ رطلا . (المترجم) .

واجتمع مجلس الحرب ، وقرر محاولة إعادة الهجوم من جديد تحت الأسوار ، والليل لا يزال يرخى سدوله ، فلعل حبال آلات أرشميدس التى حملت تلك القذائف الثقيلة ، وأكسبتها طاقات دافعة عظمى لا تجد سبيلا للعمل عن كثب عند ما ترسل فوق رؤوسهم عن قرب ، إلا أن أرشميدس كان ، كما تبين ، قد أعد العدة من قبل واستعد لمثل هذه الطوارىء بآلات معدة للعمل على أى مدى وبقذائف قصيرة المرمى ، وذلك خلال فتحات فى السور عديدة ومتجاورة ، وكان من اليسير سحب تلك الآلات قصيرة المدى ، وهى المسماة باسم « العقارب » ، لاستخدامها فى قذف كل ما يتوافر محليًّا من أجسام ، دون أن يلحظها العدو.

وعلى ذلك ، لما اكتمل جمع الرومانيين تحت الأسوار ، وخيل إليهم أنهم لم يرهم أحد ، دهمتهم مرة أخرى عاصفة هوجاء من القذائف ، هوت خلالها الحجارة الضخمة فوق رؤوسهم من اتجاه رأسى تقريباً ، كما أمطرهم السور وابلا من السهام التى كانت تنقض من كل مكان فيه ، مما حملهم على التراجع مدحورين ، ومرة أخرى لم تكد جموعهم تبتعد قليلا حتى تساقطت من فوقها القذائف فحطمت عدداً وفيراً من سفنهم دفعة واحدة . وهكذا لم يستطيعوا بحال من الأحوال الأخذ بالثأر من عدوهم . وكيف لا يكون الأمر كذلك ، وقد بنى أرشميدس أغلب آلاته غير بعيد خلف السور ، مما حمل الرومانيين على الاعتقاد بأنهم إنما كانوا يحاربون الآلهة التى دأبت على إمطارهم بعدد لا يحصى من القذائف التى تجلبها من مصدر خفى .

وعلى أية حال فقد نجح ماركيلوس فى الهرب، وراح يمزح مع صناعه ومهندسيه بقوله : « فلنكف عن قتال هذا العملاق الهندسى الذى يجعل من سفننا أكواباً يغرف بها ماء البحر ، ويضرب سمبوكتنا ويقضى عليها ليلحق بنا العار . والذى تفوق مقدرته جبابرة الأساطير والأحاجى من ذوى المائة الذراع ، إذ يمطرنا بوابل من القذائف دفعة واحدة » . والحق يقال : لم يكن باقى أهل سراقوسة إلا مجرد جسد يخضع لتصميمات وتعليمات أرشميدس الذى انفرد بتصريف جميع الأمور كيفما شاء ، خصوصاً بعد أن أصبحت كل الأسلحة الأخرى تافهة لا قيمة لها .

وفى النهاية بلغ ذعر الرومانيين درجة جعلتهم يرتعدون خوفاً كلما أبصروا

قطعة من حبل أو عصا من خشب بارزة من على السور ، ويصيحون : « ها هى ذى ، إن أرشميدس يجرب علينا بعض آلاته » ثم يولون الأدبار لا يلوون على شىء ! ! وعندما وجدهم ماركيلوس على هذه الحال كف عن القتال وأقلع عن الهجوم تماماً معتمداً على الحصار طويل الأمد .

وبعد مضى عامين من الحصار ، عندما احتلت الفرق الرومانية سراقوسه سنة ٢١٢ قبل الميلاد ، قصدت فصيلة من الجنود الرومانيين بيت أرشميدس ، فألفت الرجل فى الفناء الخلفى للبيت ، منكباً على رسم بعض الأشكال الهندسية المعقدة فوق الرمل . ولم يكد أحد الجنود يحطم جانباً منها بقدميه حتى نهره أرشميدس قائلا بلغته اللاتينية الركيكة : نولى تانجير سيركولس ميوس Noli tangere circulos meos أى : « لا تمس رسومى ! » ، فلم يكن من الجندى إلا أن أغمد حربته فى جسم الفيلسوف الهرم .

وعند ما كان شيشرون أميناً لبيت المال فى صقلية عام ١٣٧ قبل الميلاد ، عثر على قبر أرشميدس بجوار بوابة الأجريجنتين وقد تراكم عليه الحسك والشوك ، وتكدست فوقه توابيت الموتى ، وهنا يقول شيشرون : « فهل كانت أشهر مدن اليونان هذه وأعرقها علماً ستظل تجهل قبر أعظم أبنائها عبقرية ما لم يكن قد كشفه وأماط اللثام عن مكانه رجل من آربينم ؟ »* .

مدرسة الإسكندرية

عندما انهارت قوى أثينا السياسية والاقتصادية انتقل مركز الثقافة الإغريقية إلى الإسكندرية التى كان قد أنشأها الإسكندر الأكبر عام ٣٣٢ قبل الميلاد على الساحل المصرى للبحر المتوسط ، لتكون بمثابة مفتاح التجارة بين أوروبا والشرق . وخلال تلك الفترة كانت الإسكندرية قد تطورت إلى مدينة رائعة بها « ٤,٠٠٠ قصر ، ٤٠٠٠ حمام ، ١٢٠٠٠ بستانى ، ٤٠٠٠٠ يهودى من دافعى الجزية ، ٤٠٠ مسرح ، إلى جانب أماكن أخرى عديدة للهو والتسلية » . وكان مما تباهى به المدينة كذلك جامعتها التى آلت إليها القيادة العلمية ، إلى جانب

* يعنى شيشرون نفسه (المترجم) .

مكتبة ضخمة شاء حظها العاثر أن تدمرها النيران فيما بعد إبان حريق الإسكندرية الكبير الذى كان نتيجة لأمر يوليوس قيصر بحرق الأسطول المصرى الرابض فى ميناء الإسكندرية . وهنا كتب إقليدس كتابه المعروف « مبادىء الهندسة » ، كما تتلمذ أرشميدس كطالب صغير من سراقوسة .

وفى مجال علم الفلك ظهر فى الإسكندرية هيبارخوس[١] ، الذى عاش خلال منتصف القرن الثانى قبل الميلاد . وقد توصل هيبارخوس فى ذلك الوقت إلى رصد النجوم بدقة بلغت أكبر درجة توافرت فى عصره ، كما جمع قائمة لمجموعة من النجوم بلغ عددها ١٠٨٠ نجماً .

ولا يزال الفلكيون فى عصرنا هذا يستخدمون تلك القائمة كمصدر يرجعون إليه عند البحث والتنقيب فيما جمع الأقدمون من بيانات خاصة بمواقع النجوم . واكتشف هيبارخوس كذلك ظاهرة « هزة الاعتدالين » ، وهما نقطتان على الكرة السماوية تعبر عندهما الشمس خط الاستواء السماوى خلال حركتها السنوية بين النجوم . ويرجع أساس هذه الظاهرة (أو الهزة) إلى أنه لما كان محور دوران الأرض يميل إلى مستوى فلكها ، فإن هذا المحور يرسم مخروطاً فى الفضاء حول الخط العمودى على المسار ، ويبلغ زمن دورته الكاملة[٢] ٢٦ ألف سنة . والحق أنه لم يعرف سبب هذه الحركة إلا بعد عهد هيبارخوس بنحو ألف سنة ، على يد السير إسحق نيوتن .

أما فى حقل علوم الفيزياء فقد مثل هيرون (أو هيرو) مدرسة الإسكندرية ، إلا أنه كان مخترعاً هندسيا أكثر منه فيزيائيا . ويحتوى كتابه « الميكانيكا » ، على عبارات وموضوعات عديدة وصحيحة ، إلى جانب العديد من الأخطاء الرياضية الفاحشة .

وعلى الرغم من العيوب الرياضية التى عالج بها هيرون المسائل الأساسية ، فإن كتابه فى علم الميكانيكا يتضمن أوصاف عدد وفير من الآلات المفيدة ، مثل

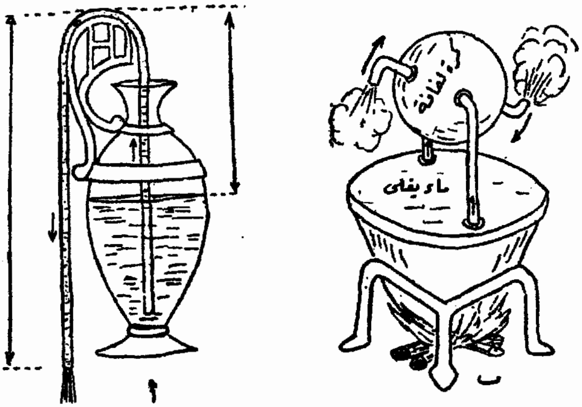
---

(١) حدد كثيراً من الأبعاد المستخدمة فى علم الفلك اليوم بدقة تامة . ومن أمثلة ذلك أطوال السنين المدارية والكوكبية ، وأطوال الشهور المختلفة ، وميل محور الأرض ، ومسار القمر . ويعتبر هيبارخوس أول من أقام علم الفلك على أسس هندسية سليمة . (المترجم) .

(٢) أى الزمن الذى يتم فيه رسم المخروط الكامل (المترجم) .

البكرات المركبة ، وأنواع مختلفة من التروس ، وتركيبات متباينة من العجلات المسننة . . . إلخ . وفى كتابه الذى عالج فيه الخواص الميكانيكية « للمواد السيالة[1] » نجده يصف المبدأ الذى يعمل به المِشَنّ (السيفون) — شكل (١ — ٨ ا) — ، وكذلك آلة بخارية نفاثة — شكل (١ — ٨ ب) ، وهى لشبه بينها وبين « الرشاش » العادى ، يمكن أن تعتبر على أية حال بمثابة البشير الأول للمحركات النفاثة الحديثة .

وكتب هيرون كذلك مؤلفاً أسماه « كاتوپترِكس Catoptrics » أو الانعكاس ، ضمنه نظرية المرايا وطرق استعمالها الرئيسية . وتقرأ فى هذا الكتاب قوله : « من الواضح أن الانعكاس علم جدير بالدراسة ، وهو فى نفس الوقت ينتج النظارات التى تثير عجب المبصر بها وفضوله . فبوساطة هذا العلم ، تصنع المرايا التى تظهر الجانب الأيمن كجانب أيمن ، وكذلك الجانب الأيسر كذلك ، على حين نجد للمرايا العادية بطبيعتها خاصية مضادة إذ تبدى الجوانب معكوسة .



شكل (١ — ٨)

يمثل الشكل جهازين اخترعهما هيرون : (ا) = السيفون الذى يسمح بتدفق الماء من وعاء تلقائياً خلال أنبوبة ملتوية . ويرجع سبب تحرك الماء خلال الأنبوبة إلى أن وزن الموجود منه فى طرفها الأيسر الطويل أكبر من وزن الماء الموجود فى طرفها الأيمن ، الذى يمتد أساساً من سطح الماء فى الوعاء إلى قمة الأنبوبة . (ب) = آلة هيرون البخارية النفاثة ، وفيها تلف الكرة بسبب انبثاق البخار المقبل من الخرطوم .

---

(١) كالهواء والغازات والسوائل (المترجم) .

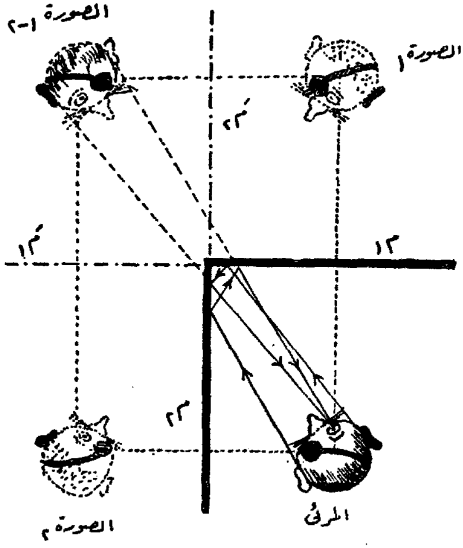
ويتم ذلك بوضع مرآتين لا إطار لهما ، بحيث تنطبق حافتاهما وتتعامد المرآتان على النحو الممثل فى شكل (١ — ٩) .

ومن الممكن باستخدام المرايا أن نرى ظهورنا (على نحو مايريك الحلاق طريقة قصه لشعر الرقبة من الخلف) ، وكذلك أن نبصر أنفسنا فى وضع مقلوب ، واقفين على رؤوسنا ، ولنا ثلاث أعين وأنفان ، وقد يتشوه منظرنا فنبدو وكأننا فى حالة حزن عميق (كما هو الحال فى مرايا سرادقات حدائق الملاهى) .

ثم من منا لا يوافق أنه من المفيد حقا أن يصبح فى مقدورنا أن نرقب أو نرصد ، عندما تتاح الفرصة ، ونحن فى بيوتنا ، عدد المارة فى الشارع وما يمارسون من أعمال؟

وتدل العبارة الآتية دلالة واضحة على وجهة نظر هيرون فيما يتعلق بطبيعة الضوء :

والغالب أن أكثر من كتبوا عن انكسار الضوء كانوا يشكون فى سبب انعكاس الأشعة الخارجة من أعيننا وارتدادها بوساطة المرايا ، وكذلك فى تعليل حدوث



شكل (١ — ٩)

عند ما ننظر إلى مرآة مركبة ، مكونة من مرآتين مستويتين م١ ، م٢ موضوعتين بحيث تنطبق حافتاهما وتكونان متعامدتين ، يرى الناظر صورته مزدوجة الانعكاس : فهو أولا يرى صورته فى المرآة مَ ١ ، ثم يراها معكوسة فى الامتداد التقديرى م١ للمرآة م٢ ، ثم فى الامتداد التقديرى مَ ١ للمرآة م١ . وينجم عن هذا الانعكاس المزدوج أن يظل الجانب الأيمن على حاله جهة اليمين والجانب الأيسر على حاله جهة اليسار . وتمثل الخطوط المتصلة المسارات الفعلية لأشعة الضوء .

الانعكاسات بزوايا متساوية . والآن يمكن التدليل على النظرية القائلة بأن بصرنا إنما يتجه فى خطوط مستقيمة تنبثق عن عضو الإبصار ، وذلك على النحو الآتى :

كل متحرك بسرعة منتظمة يسير فى خط مستقيم . ويمكن اعتبار الأسهم التى نبصرها تنطلق من أقواسها كمثال لهذه النظرية . فتحت تأثير قوة الدفع يحاول الجسم المتحرك السير على أقصر مسافة ممكنة ، ولا يتاح له الوقت الكافى لحركة أبطأ ، أى للانطلاق فى مسار أكثر طولا ؛ إذ لا تسمح قوة الدفع بمثل هذا التخلف . وهكذا نجد أنه تحت تأثير عامل السرعة يأخذ الجسم فى أثناء سيره أقصر مسار ، إلا أن الخط المستقيم هو أقصر الخطوط الموصلة بين نقطتين . ونحن نستطيع أن نستنتج أن الأشعة المنبعثة من أعيننا إنما تنطلق بسرعة لا نهائية من المثال الآتى : عندما نفتح أعيننا بعد أن كانت مغلقة ، وننظر إلى السماء ، نجد أن أشعة الإبصار لا تعوزها فترة زمنية لتدرك السماء . فليس من شك أننا نرى النجوم بمجرد تسليط نظرنا عليها ، رغم أن المسافة بينها وبيننا هى كما نعلم ما لا نهاية مثلا . وحتى إذا ما زادت مسافاتها عن ذلك فإن النتيجة واحدة ، مما يدل دلالة واضحة على أن الأشعة إنما تنبعث بسرعة غير محدودة تحول دون خضوعها للتقطع أو الانحناء أو الانكسار ، فتنطلق على طول أقصر مسار ، وهو الخط المستقيم .

وتكشف لنا هذه الفقرة حقيقة مسلية ، وهى أن اعتقاد هيرون ، وكذلك جميع معاصريه على ما يبدو ، أن الإبصار هو نتيجة انبعاث بعض الأشعة من العين وارتدادها أو انعكاسها بالجسم المرئى ، إنما هى فكرة تقوم على نفس المبدأ الذى يعمل به رادار اليوم .

ومن بين عظماء الإسكندرية الفلكى كلوديوس بطلميوس (لا دخل له بأعضاء أسرة البطالمة المالكة التى حكمت مصر أعواماً عديدة قبل عصر المسيحية) ، الذى عاش واشتغل خلال النصف الأول من القرن الثانى بعد الميلاد . وتمثل أرصاد بطلميوس الخاصة بالنجوم والكواكب ، التى أتم جمعها فى كتابه المعروف باسم « المجسطى Almagest »[1] جانباً عظيماً من الإضافات على أرصاد هيبارخوس الذى سبقه بقرنين ونصف قرن . ويتضمن كتابه « علم الضوء » أو « البصريات » أهم

---

(١) موسوعة فلكية تشمل كذلك كل ما جاء فى الفلك عند الإغريق (المترجم) .

إضافاته وابتكاراته فى مجال الفيزياء، وقد توصل إليه الأوروبيون عن طريق الترجمة اللاتينية للنسخة العربية البكر التى فقدت والتى كانت منقولة عن الأصل الإغريقى.
ويناقش بطلميوس فى كتابه هذا ، إلى جانب مسائل أخرى ، الموضوع الهام لانكسار الضوء عندما ينفذ من وسط إلى آخر ، فيقول :

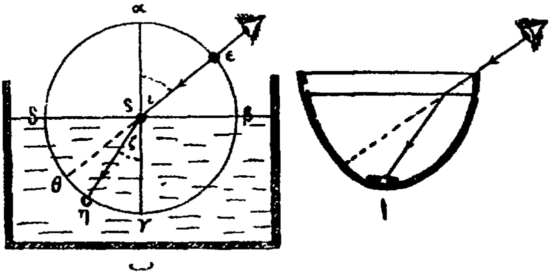
ويمكن تغيير أشعة الإبصار بطريقتين : بوساطة الانعكاس ، أى الارتداد من الأجسام المسماة باسم المرايا ، وهى التى لا تسمح للأشعة بالنفاذ ، ثم بوساطة الانحناء (أى الانكسار) فى حالة الأوساط التى تسمح بمرور الأشعة، وتوجد بينها صفة مشتركة (الأجسام الشفافة) ، وذلك لأن فى إمكان أشعة الإبصار اختراقها أو النفاذ خلالها .

وهو يعمد إلى تمثيل ظاهرة الانكسار بالتجربة البسيطة الآتية ، التى يضع فيها قطعة من النقود فى قاع وعاء مملوء بالماء ، يقال له : « جهاز التعميد » أو « التنصير »[١] شكل (١ — ١٠ أ) .

لنفرض أن وضع العين هو بحيث يكاد يمس شعاع الإبصار المنبعث منها حافة جهاز التعميد ويصل إلى نقطة أعلى من قطعة النقود . فإذا ما تركنا القطعة فى مكانها ثم صببنا بعض الماء بلطف فى الجهاز حتى ينحنى الشعاع الذى يكاد يمر فوق الحافة ويسير متجهاً إلى أسفل ثم يسقط على قطعة النقود ، تكون النتيجة أن الجسم الذى لم يكن مرئيا من قبل يصبح منظوراً على طول الخط المستقيم الممتد من العين إلى النقطة التى تعلو الوضع الحقيقى للجسم . والآن لن يفترض الناظر أن شعاع الإبصار قد انثنى أو انحنى تجاه الجسم المرئى ، ولكن الجسم ذاته طفا وارتفع تجاه الشعاع ، وعلى ذلك فمن الطبيعى أن يظهر الجسم على العمود المقام منه إلى سطح الماء .

ويصف بطلميوس فيما بعد فى كتابه تفاصيل تجربة صممها من أجل دراسة انكسار الضوء دراسة وافية ، فيقول : ويمكن تحديد قيمة الانكسار الذى يحدث فى الماء والذى يمكن مشاهدته بطريقة تحكى تلك التى نجربها بوساطة قرص النحاس عند اختبار قوانين المرايا . ارسم دائرة $\alpha \beta \gamma \delta$ على القرص — شكل (١—١٠ب) —

(١) من الجائز أنه يستخدم فى الكنائس من أجل « تعميد » الأطفال (المؤلف) .



شكل (١ – ١٠)

تجارب بطليموس على انكسار الضوء . (ا) تظهر العملة التى فى قاع إناء مملوء بالماء كأنما أزيحت إلى وضع أعلى من وضعها الحقيقى . (ب) جهاز دراسة انكسار الضوء . حدد بطليموس العلاقة بين الزاوية δ S δ التى فى الماء والزاوية α S ε التى فى الهواء ، وسجل فى جداول طريقة اعتماد إحداهما على الأخرى .

مركزها ζ ، ثم ارسم القطرين المتعامدين α S γ ، δ S β ، وقسم كل ربع دائرة إلى ٩٠ قسماً متساوياً ، وضع فى المركز علامة صغيرة جداً ملونة . وبعد ذلك ثبت القرص رأسيا فى حوض صغير وصب فى الحوض بعض الماء النقى بكمية كافية لا تحول دون مشاهدة القرص . وليكن سطح القرص الذى يقف عموديا على سطح الماء ، منصفاً بهذا السطح الأخير ، بحيث تنغمس نصف الدائرة فقط انغماساً كليا تحت سطح الماء . افرض أن القطر α ζ γ هو القطر المتعامد على سطح الماء .

والآن خذ قوساً مثل α ε ، مقيساً من النقطة α فى أحد ربعى القرص الموجودين فوق سطح الماء ، وضع على ε علامة صغيرة ملونة . انظر بعين واحدة حتى تظهر العلامتان اللتان عند ε و δ على خط مستقيم ينبثق من هذه العين . وفى نفس هذا الوقت حرك قضيباً صغيراً غير سميك على طول القوس γ δ الموجود تحت سطح الماء فى الربع المقابل حتى يظهر طرف القضيب على نقطة القوس الموجودة على امتداد الخط الواصل بين ε ، ζ . والآن عندما نقيس القوس المحصور بين النقطة γ والنقطة ζ التى يظهر عندها القضيب منطبقاً على الخط السابق ذكره ، نجد أن هذا القوس γ ζ أصغر دائماً من القوس α ε .

وعندما تضع العين على امتداد العمود α ζ لا ينحنى شعاع الإبصار ، ولكنه يسقط على γ ، التى تقابل α وعلى نفس الخط المستقيم α ζ . أما فى كافة الأوضاع

الأخرى على أية حال عندما نزيد طول القوس αε ، نجد أن طول القوس αζ يزداد كذلك . غير أن القدر الذى ينحنى به الشعاع يكبر بكميات متزايدة .

فعندما يكون αε : ١٠° يصبح αζ ٨° أى ينحنى بقدر ٢°

٢٠°	١٥½°	٤½°
٣٠°	٢٢½°	٧½°
٤٠°	٢٩°	١١°
٥٠°	٣٥°	١٥°
٦٠°	٤٠½°	١٩½°
٧٠°	٤٥½°	٢٤½°
٨٠°	٥٠°	٣٠°

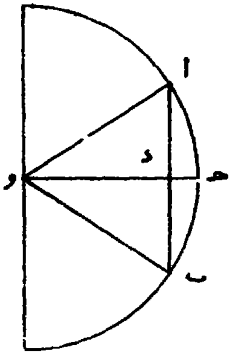
وهذه هى الوسيلة التى اكتشفنا بها مقدار الانكسار فى حالة الماء .

ودرس بطلميوس كذلك بطريقة مماثلة انكسار أشعة الضوء على السطح الفاصل بين الزجاج والماء ، فوجد أنه فى تلك الحالة ينحنى الشعاع بقدر أكبر . ولكنه على أية حال لم يحاول (أو على الأقل لم يوفق إذا كان قد حاول فعلا) التعبير عن نتائج مشاهداته بوساطة معادلة رياضية . ولم تتم الصياغة الرياضية لقانون انكسار الضوء إلا فى القرن السابع عشر ، وإنه لمن التهكم حقاً أن ندعى أنه كان من السهل عليه الوصول إليها ، فقد تضمنت الصياغة الرياضية لذلك القانون العلاقة بين القوس والوتر التى ناقشها بلوتارخوس قبل ذلك بقرن ونصف ، وتوصل إليها من تلقاء نفسه بعد جهد فى كتابه « المجسطى » عند تحليل أرصاده الفلكية .

وتضمنت المسألة تعيين طول الوتر ا د ب الذى يقابل القوس ا حـ ب فى الدائرة التى يساوى نصف قطرها الوحدة ـ شكل (١ ـ ١١) ـ وقد لجأ بطلميوس إلى استخدام طرق حسابية رائعة ليحصل على جدول يبين هذه النسب ، ونحن نعطى جانباً منه فيما يلى :

القوس	الوتر	القوس	الوتر	القوس	الوتر
°١١٦	١,٠١٤٥٥٧	°١١٧½	١,٠٢٣٥٢٢	°١١٩	١,٠٣٢٣٤٤
°١١٦½	١,٠٢٠٢٣٣	°١١٨	١,٠٢٥١٣٧	°١١٩½	١,٠٣٣٩٣٧
°١١٧	١,٠٢١٩٠١	°١١٨½	١,٠٣٠٧٤١	°١٢٠	١,٠٣٥٥٢٣

ويماثل هذا الجدول ما نطلق عليه اليوم اسم جداول حساب المثلثات بجيوب الزوايا ، وينحصر الفارق الوحيد بينهما فى أن جدولا منهما يستخدم نصف القوس (الزاوية ا و جـ) ونصف الوتر ا د . وعندما يكون نصف القطر مساوياً وحدة الأطوال يعرف الطول ا د باسم جيب ا و جـ ، على حين تسمى المسافة ا د بجيب تمام ا و جـ .



شكل (١ — ١١)

العلاقة بين « جداول الأوتار » لبلوتارخ وجداول حساب المثلثات الحديثة : دون بلوتارخ أطوال الوتر ا د ب التى تقابل أقواساً ا هـ ب مختلفة الطول . أما فى حساب المثلثات الحديث فإن الذى يرصد هو الطول ا د (نصف الوتر) مع طول القوس ا ب . ويطلق على الطول ا د اسم جيب أو جا الزاوية ا و هـ ، بينما يعرف الطول و د باسم جيب تمام أو جتا تلك الزاوية .

ولدوال حساب المثلثات فائدة عظمى فى حل كثير من المسائل الهندسية التى تتضمن قياس الزوايا والأطوال معاً .

ولو أن بطليموس عمد إلى مقارنة نتائج تجاربه على انكسار الضوء مع جدول الجيوب لتوصل إلى أن : « النسبة » بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار هى نسبة ثابتة لأى وسطين متجاورين ، إلا أنه لم يفعل ذلك ، ولم يتم كشف قانون الانكسار الذى صغناه إلا بعد مضى أربعة عشر قرنا ، على يد الفلكى والعالم الرياضى الهولندى ولليبرورد سنل . وكما سنرى فيما بعد يعتبر قانون سنل هذا

من الأهمية بمكان لفهم طبيعة الضوء .

وتعتبر أعمال بطلميوس بمثابة آخر إضافات واكتشافات قيمة تمخضت عنها الثقافة الإغريقية القديمة ، وكان لها أثرها فى ركب العلم . وبدأ البحث العلمى فى الإسكندرية يتدهور سريعاً عقب موته . ونحن قد يحق لنا أن نذكر اسم هيباشيا كآخر اسم له علاقة بمدرسة الإسكندرية . وكانت هيباشيا ابنة العالم الرياضى ثيون[١] ، واشتغلت بتدريس العلوم والفلسفة ، وعاصرت حكم الإمبراطور الرومانى « جوليانوس المارق على الدين » الذى حاول حماية تعاليم الإغريق وآلهتهم ضد قوى الكنيسة المسيحية المتزايد . وظهر رد الفعل عقب موته عام ٤١٥ ميلادية فى ثورة عظمى ضد الإغريق وثقافاتهم على يد الأسقف كيرولس السكندرى ، عندما مزق الرعاع المسيحيون هيباشيا إرباً ، كما خربوا بقايا مكاتب المدينة وقضوا عليها .

---

(١) عاش ثيون السكندرى حوالى سنة ٤٠٠ ميلادية .

الباب الثانى

العصور المظلمة وعصر النهضة

بزوال الثقافة الإغريقية توقف ركب العلم عن التقدم فى أغلب ميادينه بوجه عام ، وفى ميدان الفيزياء بوجه خاص ، ولم يكن هذا التوقف مجرد وهم أو خيال ، فقد كانت حضارة الرومانيين الذين سيطروا على العالم خلال تلك الحقبة من تاريخ الإنسان « حضارة الرجل المادى » ، ولم تكن « المعنويات » تعنيهم إلا قليلا . ورغم أنهم شجعوا العلوم واهتموا بها ، إلا أن أغلب اهتمامهم هذا انصب على المجالات العملية ذات الطابع التطبيقى. وآل الموقف من سيء إلى أسوأ عقب سقوط الإمبراطورية الرومانية ؛ إذ لم تكن الولايات الإقطاعية التى نمت على أنقاضها أرضاً خصبة لازدهار العلوم على الإطلاق ، ويكاد ينحصر ما اتسمت به تلك الولايات من صفات مشتركة خلال تلك الفترة من الزمان التى استمرت أكثر من ألف سنة ، فى انتشار المسيحية والأديرة ومحاريب النسك والرهبنة ، مما ركز الاهتمام حول المسائل الدينية ، فخضع ما تبقى من أفكار علمية ظلت قائمة بعد سقوط الثقافة الإغريقية القديمة لسلطان الدين وتحكمه . واعتبر تصوير بطلميوس للعالم الذى اتخذ فيه الأرض مركزاً ثابتاً للكون ، وتسبح الشمس والكواكب وسائر النجوم من حولها ، مذهبا مسلما به لا يقبل الجدل ؛ ذلك لأنه وافق هوى الجهات المركزية فى الفاتيكان الذى اختاره الله خليفة له على الأرض .

واقتصر النقاش « العلمى » إلى حد كبير على مسائل تناولت البحث فى موضوعات لا طائل تحتها على غرار : كم من الملائكة يمكنهم الرقص على رأس إبرة ؟ وهكذا أخذت السفسطة البدائية فى الازدهار والانتشار فى أرجاء أوروبا كافة ، وسهرت محاكم التفتيش المقدسة على القضاء على أى انحراف يظهر أو حيود يطرأ على طريق العقيدة الدينية العام .

ومن حسن حظنا وسعد طالعنا أن وجدت علوم الإغريق لها ملجأ ومنقذاً فى

الإمبراطورية العربية التى كانت قد ولدت ثم بسطت سلطانها خلال القرن السابع عشر حتى شمل سائر بقاع جنوب البحر المتوسط ، كما امتد هذا السلطان إلى إسبانيا عبر مضيق جبل طارق .

وقد أنشأ الخليفة هارون الرشيد صاحب قصة « ألف ليلة وليلة » عام ٨٠٠ ميلادية مدرسة علمية فى بغداد ، وأصبحت مدينة قرطبة بإسبانيا مركزاً ثقافياً للإمبراطورية العربية على أرض أوروبا . وعمد الأدباء العرب إلى دراسة وترجمة المخطوطات الإغريقية التى كتب لها البقاء من حطام المكتبات اليونانية القديمة . وهكذا رفع العرب راية العلم عالية خفاقة فى الوقت الذى كانت فيه أوروبا تختنق تحت نير وقبضة سفسطة مدرسة العصور الوسطى . ونحن عندما نستعرض تاريخ العلوم نجد مما يشهد لفضل العرب فى عصرهم تلك المصطلحات العربية العديدة التى نستخدمها اليوم مثل : الجبر Algebra ، والكحول Alcohol ، والقلوى Alkali ، والململغم Amalgam[١] ، والمناخ Almanac[٢] ، وقلب العقرب Antares[٣] .

وقد نجح العرب فى التقدم بعلم الرياضة بخطى واسعة ، فاستحدثوا علم الجبر ، الذى لم يعرفه الإغريق من قبل ، كما أدخلوا الأرقام العربية التى سهلت إجراء العمليات الحسابية بالنسبة للطريقة الرومانية . ولكن ربما كان من نتائج انتشار أحاجى شهرزاد ورواج أساطيرها أن اقتصرت أغلب أعمالهم فى مجالى الفلك والكيمياء على متابعة تلك الآمال الوهمية والتمنيات الخيالية التى تناولت موضوع التكهن بمستقبل أى فرد على أساس أشكال النجوم يوم ميلاده (التنجيم) ، وكذلك البحث عن الوسائل التى تحول بها المعادن المألوفة إلى ذهب ثمين (الكيمياء الخرافية أو الكمى) . ويلوح أنه لم يكن لهم إنتاج يذكر فى مجال الفيزياء ، إلا بطبيعة الحال إذا اعتبرنا الكيمياء بمثابة البشير الذى سبق ظهور الطرق الحديثة المستخدمة فى تحويل أى مركب كيميائى إلى مركب آخر[٤] .

---

(١) مثل الخارصين المملغم ، أى المكسو بطبقة من الزئبق بعد دلكه به (المترجم) .
(٢) من أناخ ودلالتها هنا الدليل أو التقويم (المترجم) .
(٣) هو من البروج أو تجمعات النجوم الثوابت فى كبد السماء . (المترجم) .
(٤) يخالف رأى المؤلف هنا الحقيقة والواقع كما ذكرها المترجم فى تعليقه (المترجم) .

« ولكن بعد أن يقضى المحتل وطره يتحتم على المحتل الرحيل » والمقصود بالمحتل هو المغاربة أو العرب فى الأندلس — وفى القرن الثانى عشر سريعاً ما اضمحلت الإمبراطورية العربية بغزو جنكيزخان لها ، وتحت ضغط الصليبيين المسيحيين المستمر فى الأرض المقدسة .

وخلال تلك الفترة من الزمان كانت الولايات الأوروبية قد أخذت تنهض رويداً رويداً من وعثاء العصور الوسطى المظلمة وتنفض عنها غبارها ، وبدأت قيمة التعليم والمعرفة ترتفع من جديد . وحدث فى عام ٨٧٤ ميلادية أن أصدر شارلمان حاكم الإمبراطورية الفرنسية أمراً بأن تكون لجميع الأديرة فى شتى أرجاء مملكته مدارس ملحقة بها . وفى عام ١١٠٠ ميلادية أنشئت جامعة باريس . وتبع ذلك سريعاً إنشاء جامعات بولونيا ، وأكسفورد ، وكمبردج ، وسرعان ما أصبحت هذه الجامعات مراكز مدرسية (سكولائية) نشطة . وكانت مراحل الدراسة العادية تتكون من « الثلاثية » وقوامها فنون الآداب ، وتضمنت برامجها دراسة الأجرومية اللاتينية ، والبلاغة والمنطق ، ثم « الرباعية » وهى المرحلة التى اشتملت على دراسة الرياضة والهندسة والموسيقى والفلك . ومهما يكن من شىء فقد ظل التعليم خاضعاً لإشراف الكنيسة ويقظتها التامة ، وكان لزاماً على جامعات الأقطار المسيحية كلها الحصول على موافقة البابا لكى تحتفظ ببقائها وكيانها . ولقد قامت أغلب الدراسات على كتابات أرسطو التى وصلت إلى أوروبا عن طريق الترجمات العربية . وكما سبق أن قلنا نجد أرسطو رغم أنه بز وسبق غيره فى مجالات عديدة ، لم يوفق ولم يكن له على وجه التأكيد مجهود قيم فى مجال علوم الفيزياء ، ولهذا لم يخلف أثراً كبيراً يذكر فى بناء صرح الفيزياء وإرساء قواعده فى أوروبا عندما بدأت تصحو وتفيق من سباتها العميق الذى دام زهاء ألف سنة .

ومن العوامل الهامة التى ساعدت على انتشار العلم اختراع آلة الطباعة فى منتصف القرن الخامس عشر فى حانوت رجل يدعى فست فى ميتز بألمانيا . ومن بين أهم الكتب التى أظهرتها تلك المطابع الأولى دون شك كتاب دى رفوليوشنيبس أوربيتم كأولزيتم « De Revolutionib Orbitum Cœlestium ».(مطبعة نورمبرج عام ١٥٤٣ ميلادية) ، تأليف نقولا كبرنيق ، الذى أظهر فيه صورة جديدة

لتكوين العالم ، تحتل فيها الشمس المركز . (ولكى يتلافى عقاب الكنيسة كان لا بد من وضع مقدمة للكتاب ، كتبها فى الغالب — من غير علم كبرنيق — ناشر كتبه آندرياز أوزياندر) ، وجاء فى المقدمة أن جميع الأفكار الواردة فى الكتاب هى مجرد فروض ، وأنها تمثل إلى حد كبير تمريناً رياضياً ولا تصف الحقيقة فى شىء .

محراب كبلر وقوانينه

ربما تمثل الفقرات الآتية الخليط الذى كان سائداً بين الثقافة الدينية والعلم الحقيقى فى ذلك العصر ، وهى مقتبسة من « مستيريم كوزموجرافيكم Mysterium Cosmographicum » (١٥٩٦) الذى ألفه جوهان كبلر مكتشف القوانين الأساسية لحركة الكواكب . ونظراً لما كان يتمتع به من معاونة بعض نبلاء ألمانيا ومؤازرتهم له فى بحوثه ، بدأ الكتاب بالكلمات الآتية :

« إلى النبيل صاحب الفضل والمقام الرفيع ، ذى العفة والورع ، مولاى سجسموند فريدرخ ، بارون هربرستين . . . . إلى أنبل اللوردات لأشهر ولايات ستيريا ، مجلس الخمسة الأفاضل المحترمين ، سادتى الكرام العطوفين :

تحيات واحترامات متواضعة !

وقد وعدت منذ سبعة أشهر ، أن أنجز عملا يعتبر فى نظر العلماء شيئاً رائعاً مؤثراً ومحركاً لعواطفهم ، كما يفوق إلى حد بعيد جميع التقاويم السنوية ، وهأنذا أقدم لمقامكم الكريم ، يا سادتى النبلاء ، عملا رغم صغر حجمه لكونه ثمرة مجهودى الخاص المتواضع ، فإنه إنما يعالج موضوعاً عجيباً . وأنتم إذا رغبتم فى الرقى إلى مرتبة النضج — وقد سبق أن عالجه فيثاغورث منذ نحو ٢٠٠٠ سنة مضت ، إذا شئتم الابتكار والخلق — فهذه أول مرة أتقدم فيها بموضوعى هذا للناس كافة . فإذا شئتم المجال الذى يتناوله الموضوع — وليس ثمة ما هو أكبر ولا ما هو أكثر اتساعاً من الكون إذا كانت رغبتكم الاحترام والتقدير — فليس هناك ما هو أثمن ، ولا ما هو أجمل من هيكلنا الفاخر لله . أما إذا كنتم تريدون الكشف عن الغوامض والوقوف على الخبايا — فليس فى الطبيعة أكثر من ذلك ، ولم يسبق أن كان أكثر منه غموضاً ..

ولا توجد غير علة واحدة تحول دون إقناع كل فرد بما أهدف إليه ، وهى أن فائدته لن يدركها إلا المفكرون . إننى إنما أتحدث عن كتاب « الطبيعة »[١] ، الذى نال قدراً عظيماً من اهتمام الكتاب المقدس[٢] . فها هوذا الرسول بولس يعظ الوثنيين ليروا الله منعكساً فى أنفسهم ، تماماً كما تنعكس الشمس على صفحة الماء ، أو كما يحدث فى المرآة . فلماذا إذاً ينشرح المسيحيون قليلا بهذا الانعكاس ما دام هذا هو سبيلنا القويم وطريقنا السوى لتعظيم الله وتبجيله والإيمان به ؟ ولكن إيماننا هذا يصبح أبعد عمقاً وأقوى صلابة كلما زادت معرفتنا بالوجود واتساع آفاقه . والحق يقال : كم من ترانيم للصلاة لم يتغن بها داود ، خادمه الأمين ، ولم يرتلها للخالق الذى ليس هو سوى الله وحده ! . . .

لقد كان خلال ذلك ينصرف بعقله إلى السماء يتبصرها فى إجلال وتبجيل ،

---

(١) أو سجل الوجود المادى كما نراه ونرصده (المترجم) .

(٢) يفتح القرآن الكريم باباً للبحث والتنقيب عن آيات الخالق المنبثة فى كل ركن من أركان الوجود الفسيح ، ويعتبر هذا العمل من أسس الإيمان القوى السليم ، فيقول مثلا على سبيل المثال لا على سبيل الحصر :

ا — « إن فى السموات والأرض لآيات للمؤمنين » (الجاثية ٣) .

ب — « وهو الذى جعل لكم النجوم لتهتدوا بها فى ظلمات البر والبحر ، قد فصلنا الآيات لقوم يعلمون » . (الأنعام٩٧) .

حـ — « أو لم ينظروا فى ملكوت السموات والأرض وما خلق الله من شىء . » (الأعراف ١٨٥)

د — « إن الله يمسك السموات والأرض أن تزولا ، ولئن زالتا إن أمسكهما من أحد من بعده إنه كان حليما غفورا . » (فاطر ٤١) .

هـ — « الله الذى رفع السموات بغير عمد ترونها » — (الرعد ٢) .

و — « ولقد جعلنا فى السماء بروجا وزيناها للناظرين » (الحجر١٦) .

ز — « ولله يسجد ما فى السموات وما فى الأرض من دابة والملائكة وهم لا يستكبرون » (النحل٤٩) .

ح — « إن فى خلق السموات والأرض واختلاف الليل والنهار لآيات لأولى الألباب » — (آل عمران ١٩٠) .

ط — « تبارك الذى جعل فى السماء بروجا وجعل فيها سراجا » — (الفرقان ٦١) .

ى — « ثم استوى إلى السماء وهى دخان » — (فصلت ١١) .

ك — « والسماء بنيناها بأيد وإنا لموسعون » — (الذاريات ٤٧) .

ل — « ويتفكرون فى خلق السموات والأرض » — (آل عمران ١٩١) .

م — « فلا أقسم بمواقع النجوم ، وإنه لقسم لو تعلمون عظيم » — (الواقعة ٧٥ و ٧٦) .

وتتضمن هذه الآيات كلها من المعانى ما يعجز القلم عن وصفه وما يدل على اهتمام القرآن الكريم بهذا المجال الواسع ألا وهو سجل الطبيعة الذى تتجلى فيه آيات الخالق واضحة بينة . (المترجم) .

وهو يتلو: فى السموات يتجلى مجد الله وبهاؤه . سأسبح بفكرى فى سمائك التى هى من صنع أياديك ، القمر والنجوم التى أقمتها ونظمتها . الله هو ربنا ، وما أعظم قوته وإرادته : إنه يحصى النجوم عدًّا ، ويعرفها بأسمائها . ومن مكان آخر ، حيث يوحى للروح القدس ، ويسود الحبور وينتشر البهاء والسرور ، ينادى المنادى : فلتسبح بحمد الله ولْتثن عليه الشمس والقمر و . . . . » ونلقى بعد هذا قوله :

« لقد ناقش أرسطو (فى كتابه عن السموات) بإسهاب فكرة أن العالم كله تحيط به كرة ، وبنى دعائم برهانه على أساس الأهمية الخاصة للأسطح الكروية . ولنفس هذا السبب تحتفظ الكرة الخارجية للنجوم الثوابت بشكلها حتى الآن ، رغم أننا لا نستطيع أن نسبغ عليها أية حركة ، وتقع الشمس فى مركز هذه الكرة تماماً كما كانت من قبل . وتبين الحركات الدائرية للنجوم حقيقة أن باقى الأفلاك هى أيضاً مستديرة ، وعلى ذلك فإننا لا نحتاج إلى إقامة الدليل من جديد على استخدام المنحنى فى تزيين هذا الوجود . ومهما يكن من شىء فإننا بينما نجد الكون يتضمن ثلاثة أنواع من الكم هى : الشكل ، والعدد ، ومحتويات الأجسام ، نجد الانحناء يقتصر على الشكل فقط . وهنا لا قيمة لمحتويات الأجسام ، لأن أى بناء إنما يشيد على مثيل له متحد معه فى المركز ، (فمثلا كرة على كرة أو دائرة فى دائرة) ، وهى إما أن تتماس فى كل أجزائها ، وإما ألا تلتقى على الإطلاق . والشكل الدائرى الذى يمثل كمية فريدة مطلقة لا يتحكم فيه سوى العدد ثلاثة » .

وبينما كان كبلر يدوّن هذه النظرات اليانعة ، المزدهرة ، انكب على حل مسألة أكثر تعقيداً : هى القانون الذى يمثل حركة الكواكب تمثيلا حقيقيًّا . ولقد افترض كبرنيق فى نظامه — كما جاء فى Revolutionibus لاريفوليوشنبس — أن أفلاك الكواكب دائرية ، وذلك تمشياً مع التقاليد القديمة التى نادت بها الفلسفة الإغريقية من اعتبار الدائرة هى المنحنى الكامل والكرة هى الجسم الكامل . ولكن هذا الغرض لم يلائم على الوجه الأكمل القياسات التفصيلية لحركة الكواكب التى أجراها الفلكى الهولندى تيخوبراهى فى مرصده الخاص المسمى يورانيبورج الذى أقامه على جزيرة صغيرة غير بعيد عن كوبنهاجن . ولقد عمد كبلر إلى البحث عن الشكل الحقيقى لأفلاك الكواكب ، ودفعه إلى هذا العمل تلمذته لتيخو ومعاونته له

فى البحث ، مع ما توافر له من قراءته لأعمال إقليدس وغيرها من مؤلفات الإغريق القديمة . وقد توصل إلى أول اكتشاف هام له بعد العمل سنين عدة ؛ إذ وجد أنه بينما لا تسبح الكواكب حول الشمس فى أفلاك دائرية تماماً ، إذا بها ترسم مسارات تنتمى إلى فصيلة أخرى من المنحنيات لا تقل أهمية عن قيمة الدائرة فى هندسة إقليدس القديمة . وتعرف هذه الفصيلة من المنحنيات باسم (القطاعات المخروطية) ، وهى الناجمة عن تقاطع المخروطات مع السطوح المستوية المختلفة الميل — شكل (٢ — ١) — . وعندما يكون السطح المستوى متعامداً على محور المخروط نحصل بطبيعة الحال على مقطع دائرى (دائرة) ، أما إذا كان السطح المستوى مائلا على المحور فإننا نحصل على منحن مستطيل مقفل يقال له القطع الناقص[١] . وعندما يصبح السطح المستوي موازياً لحافة المخروط تمتد إحدى نهايات القطع الناقص إلى ما لا نهاية ، ونحصل على منحن مفتوح هو القطع المكافئ . وإذا ما ازداد ميل السطح بعد ذلك عظم « انفراج » القطع المكافئ الأصلى، بحيث يتحول إلى ما نطلق عليه اسم قطع زائد . على أننا يجب علينا أن نلاحظ أنه فى حالة القطع الزائد هذا يوجد فرعان منفصلان يتكون الفرع الثانى منهما عند تقاطع المستوى مع الجزء الآخر للمخروط المقلوب !

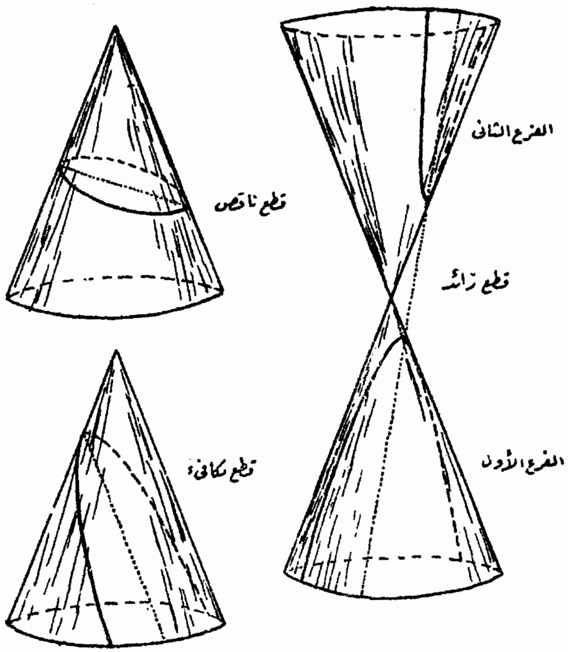
ومن ناحية أخرى يمكن تعريف القطع الناقص كمجموعة من النقط يتم اختيارها بحيث يكون لمجموع كل بعد منها عن نقطتين ثابتتين يقال لهما « البؤرتان » قيمة ثابتة . . وعلى ذلك يمكننا رسم القطع الناقص بتثبيت طرفى خيط طويل بدبوسين[٢] على قطعة من الورق المقوى وشده بقلم رصاص ليرسم القلم المسار المطلوب . وكذلك يعرف القطع المكافىء بأنه مجموعة النقط التى يتم اختيارها بحيث يكون الفرق بين بعد كل منها عن البؤرتين ثابتاً — شكل (٢ — ٢ ا) — ، وهذه الحقيقة تحول دون توافر أى وسيلة عملية سهلة لرسم مثل هذا المنحنى .

وعندما حلل كبلر أرصاد تيخور براهى ، الخاصة بأوضاع الكواكب بين النجوم ، استنتج أن وضع الأمور فى نصابها إنما يستلزم افتراض أن « الكواكب

---

(١) الأهليج (المترجم) .

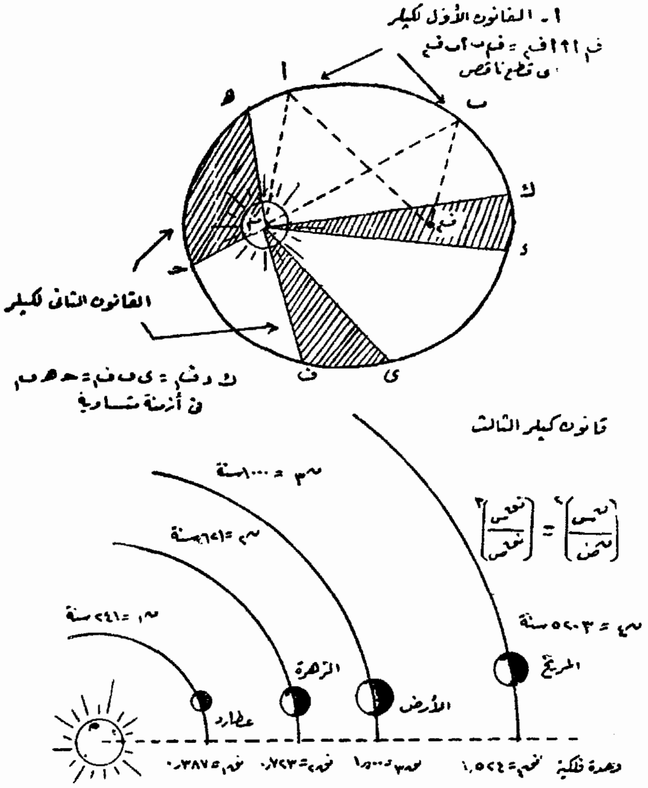
(٢) يمثلان بؤرتى القطع الناقص ، ويكون طول الخيط أكبر من البعد بينهما (المترجم) .



شكل (٢ — ١)
مقاطع مخروطية يحصل عليها عند ما يقطع المخروط بمستوى يميل بزوايا مختلفة .

كافة تسير فى قطاعات ناقصة تحتل الشمس إحدى بؤراتها » . ووجد كذلك أن الكواكب فى أثناء سبحها حول الشمس تزداد سرعتها عندما تقترب من الشمس فى (حضيض) المسار كما تقل سرعتها بالابتعاد عنها (فى الأوج) . ويمكن التعبير عن العلاقة التى تربط بين قيم السرعة التى يسبح بها أى كوكب وبعده عن الشمس خلال مروره بأجزاء مساره المختلفة بقولنا « يمسح الخط الوهمى الواصل بين الشمس والكوكب مساحات متساوية من فلك الكوكب فى أزمنة متساوية » شكل (٢ — ٢ ا) — . وقد أعلن كبلر هذين القانونين الأساسيين من قوانين حركة الكواكب عام ١٦٠٩ ، وهما يعرفان باسم قانونى كبلر الأول والثانى .

وبعد أن توصل كبلر إلى القوانين التى تربط حركة كل كوكب بدأ البحث والتنقيب عن العلاقة القائمة بين الكواكب والتى تربطها بعضها ببعض ، فأمضى تسع سنين من أجل الوصول إليها ، وحاول خلالها جميع الإمكانيات وتلمس جميع



شكل (٢ - ٢)
القوانين الثلاثة التى وضعها كبلر لحركة الكواكب

السبل ، مثل تعيين العلاقة بين أفلاك الكواكب أو مساراتها ومتعددات السطوح المنتظمة المعروفة فى الهندسة الفراغية ولكن دون جدوى . وأخيراً بعد جهد كبير توصل كبلر إلى اكتشاف هام جداً يعرف فى عصرنا هذا باسم قانون كبلر الثالث ، ومنطوق هذا القانون: « إن النسبة بين مربعات أزمنة دوران الكواكب المختلفة حول الشمس تساوى النسبة بين مكعبات متوسطات أبعادها عن الشمس . فى شكل (٢ — ٢ ب) تمثل أبعاد مسارات هذه المجموعة المعروفة باسم « الكواكب الداخلية » وهى ، عطارد ، والزهرة ، والأرض ، والمريخ — بدلالة نصف قطر مسار الأرض (وهو المعروف باسم الوحدة الفلكية) ، كما تمثل أزمنة دورانها بدلالة السنة على الأرض .

وعندما نأخذ مربعات أزمنة الدوران نحصل على التتابع على القيم الآتية :

,٠٥٨	٠,٣٧٨	١,٠٠٠	٣,٥٤٠

على حين تعطى مكعبات المسافات على التتابع القيم :

,٠٥٨	٠,٣٧٨	١,٠٠٠	٣,٥٤٠

ويدل تطابق القيم المتناظرة فى المجموعتين على التتابع على صحة قانون كبلر الثالث ، وهكذا عرف العلماء منذ القرن السابع عشر كيفية سبح الكواكب حول الشمس ، إلا أنه كان لا مناص من أن يمر نصف قرن آخر قبل أن يعرفوا سبب ذلك السبح وعلة تلك الكيفية .

سلسلة ستيفنسن

وبينما تركزت أعمال كبلر على أجرام السماء ، وجه مهندس معاصر ، هو سيمون ستيفنسن الفلمنكى ، اهتمامه إلى الأرض ، وراح يضيف إلى أعمال أرشميدس تطبيقاتها فى مجال التوازن فى الميكانيكا المعروف عادة باسم « الستاتيكا »[1] . وكانت أهم إضافاته فى هذا الحقل حل مسألة التوازن على مستوى مائل ، وهو موضوع لم يتعرض له أرشميدس فى الغالب ، ولكن كما رأينا من قبل عالجه هيرون بطريقة خاطئة . ويظهر على غلاف كتاب «الستاتيكا» لستيفنسن رسم ممثل فى شكل (٢—٣) يدل على تقدم رائع فى فهم مسائل الاتزان . فإذا ما وضعت سلسلة مكونة من عدد كبير من الكرات المعدنية (كحبات السبحة كما قد نسميها اليوم) على حامل منشورى الشكل جوانبه ملساء تماماً (عديمة الاحتكاك) ، فما الذى يحدث عندئذ ؟ نظراً لوجود مجموعة من الكرات على جانب المنشور الأيسر (الأطول) عددها أكبر من مجموعة الكرات الموجودة على جانبه الأيمن (الأقصر)، يخيل للمرء منا أنه يحدث فرق فى الوزن ، ويتبع ذلك أن تبدأ السلسلة فى التحرك من اليمين إلى اليسار . ونظراً لأن السلسلة متصلة الأجزاء فلن تقف هذه الحركة، وتظل السلسلة تدور أو تلف حول المنشور على الدوام . ولو صح ذلك لاستطعنا أن نضيف إلى هذه الآلة بعض التروس والعجلات المسننة لتدير أى آلة أبد الدهر دون أن نبذل شيئاً من

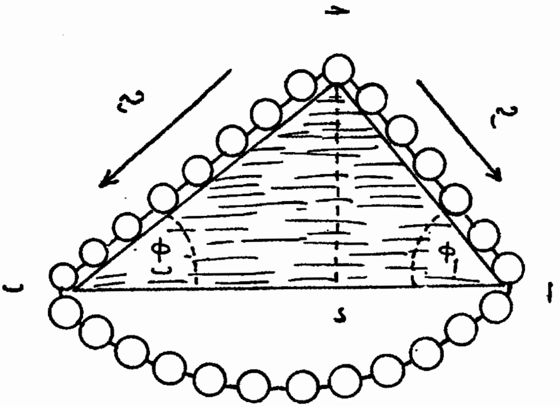
(١) دراسة شروط توازن القوى المؤثرة على جسم ساكن (المترجم) .

التكاليف . ومعنى هذا أننا نحصل من لا شيء على شغل مبذول ، وبذلك يستفيد البشر بدرجة أعظم مما ينتظر من برامج الطاقة الذرية واستخداماتها فى السلم !

ولما كان ستيفنسن رجلا عمليًّا فطناً لا يركن إلى الأوهام فقد أسقط من حسابه هذا الاحتمال، وقرر أن السلسلة يجب أن تظل فى حالة اتزان . ولكن هذا يعنى أن الشد الواقع على كرة موجودة فى مستوى مائل يقل كلما قلت الزاوية المحصورة بين هذا السطح والمستوى الأفقى، الذى هو فى الواقع يطابق تماماً الحقيقة القائلة بأنه لا تؤثر أية قوة على الكرة الموجودة فى المستوى الأفقى . ولما كان عدد الكرات الموجودة فى المستويين الأيمن والأيسر يبدو متناسباً مع طولى هذين المستويين ، فإننا نستطيع (عندما نرمز بالحرفين ق١ ، ق٢ للدلالة على القوى المؤثرة فى جانبى كرة واحدة) أن نستنتج أن :

$$ق_1 \times \overline{اجـ} = ق_2 \times \overline{جـب}$$

$$\therefore \quad \frac{ق_1}{ق_2} = \frac{\overline{جـب}}{\overline{اجـ}}$$



شكل (٢ – ٣)

سلسلة ستيفنسن التى لا حدود لها ، وهى توضح قانون التعادل والاتزان على المستوى المائل

وبإدخال جيبى الزاويتين φا، φب اللتين تحددان انحدار كل من المستويين المائلين نحصل على :

$$\text{جا } \phi_ا = \frac{\overline{\text{ج د}}}{\overline{\text{ا ج}}}$$

$$\text{جا } \phi_ب = \frac{\overline{\text{ج د}}}{\overline{\text{ج ب}}}$$

وبذلك يمكن كتابة العلاقة السابقة فى الصورة :

$$\frac{ق_١}{ق_٢} = \frac{\text{جا } \phi_ا}{\text{جا } \phi_ب}$$

ومعنى ذلك أن قوى الجذب التى تؤثر فى جسم ما فى اتجاه انحدار المستوى المائل الذى يوضع فوقه الجسم إنما تتناسب طردياً مع جيب زاوية انحدار أو ميل هذا المستوى .

الخطار « البندول »

وبينما خطا ستيفنسن خطوات واسعة فى ميدان دراساته الستاتيكية ، نال أحد أبناء أشراف فلورنتين المعوزين ، ويدعى فنسنزيو غاليليو ، شرف القيام بأولى محاولات فى مجال الديناميكا ، أو دراسة حركة الأجسام المادية ، ورغم أن السنيور فنسنزيو كان شخصياً مولعاً بالرياضة فقد وجه ابنه غاليليو ليحترف مهنة الطب ، تلك المهنة ذات الدخل الوفير ، وعلى ذلك عندما بلغ غاليليو سن السابعة عشرة ، عام ١٥٨١ ، بدأ دراسته الطبية فى جامعة باريس ، ولكن يلوح أن الشاب لم يجد له فى تشريح جثث الموتى أية متعة ولا أى عمل مثير ، وكان عقله الذى لا يعرف طعم الراحة يبحث عن أنواع أخرى من المسائل .

وحدث ذات مرة ، عندما كان يحضر قداساً فى كاتدرائية باريس ، أن شرد بذهنه فى مراقبة (شمعدان) راح يتحرك عندما أشعل أحد الحاضرين الشمع الذى فيه . ولاحظ كيف كانت ذبذباته المتتابعة تتناقص شيئاً فشيئاً قبل وصوله إلى حالة السكون . وتساءل غاليليو : « هل يتناقص كذلك زمن الذبذبة الواحدة ؟ » .

ولما لم يكن لديه ساعة وقف — إذ لم تكن قد اخترعت بعد — قرر غاليليو قياس

زمن الذبذبة الواحدة بعد نبضه، وغالباً أدهشه أن يتبين أنه رغم أن مدى الذبذبات كان يتناقص تدريجيًّا فقد ظلت أزمنتها ثابتة . وعندما آب إلى بيته وأعاد إجراء التجربة على حجر شده إلى طرف خيط حصل على نفس النتيجة ، كما تبين له كذلك أن لكل طول خاص للخيط زمن ذبذبة معيناً يظل ثابتاً بصرف النظر عن وزن الحجر الذى يستخدمه فى إجراء التجربة ، أى سواء صغر الحجر أو كبر ، وبذلك ظهر فى حيز الوجود الاختراع المألوف لدينا الآن الذى نطلق عليه اسم البندول . ونظراً لأنه ظل يدرس الطب عمد إلى إجراء تجربة يستغل فيها اكتشافه ، فاقترح استخدام طول قياسى للخطار « البندول » يقيس به نبض المرضى ، ومن ثم شاع استعمال (مقياس النبض) فى الطب خلال ذلك الوقت، وهو يعتبر بمثابة البشير لمرضة هذا العصر وهى فى ثوبها الأبيض عندما تحمل يد المريض وتنظر فى ساعة رسغها الأنيقة . وكان هذا آخر ما أخرج غاليليو من كشوف فى علم الطب ؛ إذ أن دراسة هذه المسألة وغيرها من أجهزة الميكانيكا غيرت تماماً من اتجاه اهتمامه وتفكيره ، فبعد أن حصل على موافقة أبيه ، غيَّر خططه العلمية الدراسية (الأكاديمية)، وشرع يدرس الرياضة والعلوم .

وأمضى سنين عدة مركزاً اهتمامه فى مجال ما نطلق عليه اليوم اسم الديناميكا — أى دراسة قوانين الحركة — لماذا يظل (زمن الذبذبة) مستقلا عن (سعتها) أو مداها ؟ ولماذا يترنح الحجر الخفيف والحجر الثقيل عند شدهما على التوالى إلى طرف خيط واحد بنفس المعدل ولا يختلف زمن الذبذبة ؟ ولم يتوصل غاليليو إلى حل المسألة الأولى ؛ إذ أن ذلك إنما يتطلب استخدام حساب التفاضل والتكامل الذى استحدثه نيوتن بعد ذلك بنحو قرن . وكذلك أخفق فى حل المسألة الثانية التى كان لا مناص لحلها من انتظار أعمال أينشتين الخاصة بنظرية النسبية العامة ، إلا أنه دون شك ، رغم عدم نجاحه فى حل المسألتين ، قد أنجز إضافات قيمة فى مجال إثارتهما أو صياغتهما ! ! فما حركة الخطار « البندول » إلا حالة خاصة من التساقط الناجم عن قوى الجاذبية . فنحن عندما نترك حجراً غير مشدود إلى شىء حرًّا طليقاً نجده يسقط مباشرة إلى الأرض. أما إذا شد الحجر إلى خيط مربوط فى السقف فإنه يجبر على السقوط على طول قوس دائرية . وإذا ما أخذ حجر خفيف وآخر ثقيل نفس الوقت فى الوصول إلى أقل ارتفاع (ربع زمن ذبذبة الخطار) ،

فإننا نجد أن الحجرين إنما يستغرقان نفس الفترة فى السقوط إلى الأرض عندما يسقطان من نفس الارتفاع . ولم تكن تلك النتائج تتفق مع فكرة فلسفة أرسطو التى كانت سائدة فى ذلك الوقت ، إذ تبعاً لها تسقط الأجسام الثقيلة أسرع من الأجسام الخفيفة . وعمد غاليليو من أجل إثبات ما توصل إليه إلى إسقاط كرتين من برج بيزا المائل ، إحداهما من الخشب والأخرى من الحديد ، على حين راح الذين لم يصدقوه يشاهدون التجربة ، ويرقبون الكرتين وهما ترتطمان بالأرض فى نفس اللحظة . ويلوح على أية حال أن الأبحاث التاريخية لا تؤيد على الإطلاق إجراء تلك التجربة ، وإنما تصورها فى قالب أسطورة متعددة الألوان ، وحتى ليس من بين تلك الأبحاث ما يثبت أن غاليليو اكتشف قانون البندول عندما كان يصلى فى كاتدرائية باريس ، ولكن ليس من شك أنه كان يسقط أجساماً مختلفة الأوزان ؛ وربما كان يفعل ذلك من سقف بيته ، كما أنه كان يهز الحجارة بعد شدها إلى الخيط ويتركها تترنح ، وربما كان يفعل ذلك فى حديقته الخلفية .

قانون التساقط

عندما تترك حجراً حرًّا طليقاً تجده يتحرك إلى أسفل بسرعة متزايدة ، ولقد حاول غاليليو أن يستنبط القانون الرياضى الذى يتحكم فى تلك الحركة ذات السرعة المتزايدة ، إلا أن التساقط الحر للأجسام يبلغ من السرعة ما يحول دون دراسته بالتفصيل من غير استعمال الأجهزة الحديثة التى على غرار التصوير مثلا . ولذلك قرر غاليليو أن يمدد قوى الجاذبية[١] بأن يجعل الكرة تتدحرج من أعلى مستوى مائل – شكل (٢ – ٤) ، فكلما ازداد ميل المستوى تدحرجت الكرة بسرعة أكبر . وفى النهاية ، عندما يصبح المستوى رأسيًّا تماماً تسقط الكرة حرة طليقة بمحاذاة المستوى . وكان قياس الزمن الذى تستغرقه الكرة فى قطع المسافات المختلفة هو العقبة الأساسية فى إجراء هذه التجربة ، ولكن غاليليو تغلب على هذه العقبة باستخدام ساعة مائية كان يقدر فيها الزمن بقياس الماء المتدفق من فتحة ضيقة أسفل مستودع كبير . وقد ابتدأ من حالة السكون وعمد إلى عمل علامات توضح

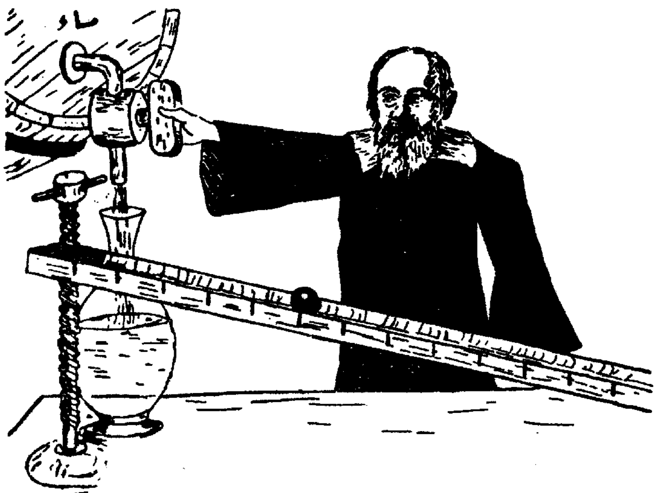
(١) قبضة الأرض . (المترجم) .

الأوضاع المتباينة للكرة خلال فترات متساوية من الزمن ، وعند ذلك وجد أن المسافات التى تقطعها الكرة خلال تلك الأزمنة المتساوية تحمل فيما بينها النسب ١ : ٣ : ٥ : ٧ . . . . . إلخ . وعندما زاد ميل المستوى وجد أن المسافات المقطوعة زادت كذلك مع احتفاظها فيما بينها دائماً بنفس النسب . وفى ضوء هذه النتيجة قرر غاليليو ضرورة صحة هذا القانون فى الحالة النهائية التى يصبح فيها المستوى رأسياً فتتساقط الكرة حرة طليقة . ومهما يكن من شىء فإنه يمكن التعبير عن هذه النتيجة بطريقة أخرى رياضية ، وذلك بأن نقول : تتناسب المسافة الكلية التى تقطعها الكرة خلال فترة معينة من الزمن مع مربع الزمن . أو كما كان يعبر عنها فى عصر غاليليو : « هو تناسب مزدوج » مع الزمن . وفى الحقيقة لو أننا اتخذنا المسافة كالتى تقطعها الكرة خلال الفترة الأولى من الزمن كوحدة للطول لوجدنا أن المسافة الكلية التى تقطعها الكرة فى نهاية الفترات المتتابعة هى بحسب قانون التربيع .

$١^٢$ ، $٢^٢$ ، $٣^٢$ ، $٤^٢$....

أو ١ ، ٤ ، ٩ ، ١٦

وعلى ذلك تكون المسافة المقطوعة خلال الفترات الزمنية المتتابعة هى :

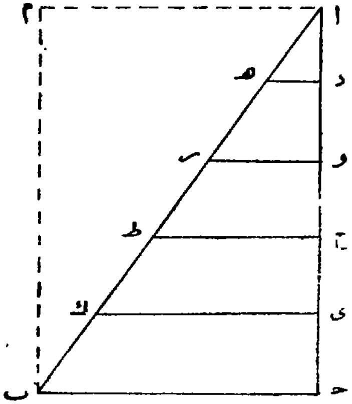


شكل (٢ – ٤)

غاليليو وهو يدرس الحركة ذات السرعة المتزايدة لكرة تتدحرج إلى أسفل مستوى مائل

١ ، ٤ — ١ = ٣ ، ٩ — ٤ = ٥ ، ١٦ — ٩ = ٧ [١] وهلم جراً .

ومن رصد الكيفية التى ترتبط بها المسافة المقطوعة مع الزمن استنتج غاليليو أنه يلزم أن تزداد سرعة تلك الحركة زيادة تتناسب تناسباً بسيطاً مع الزمن . وسوف نسوق هنا برهان هذا الاستنتاج كما صاغه غاليليو نفسه[٢] :



شكل (٢ — ٥)

برهان غاليليو على أنه فى حالة الحركة ذات العجلة (المنتظمة) ، عند ما تبتدئ من السكون ، تعادل المسافة التى يقطعها الجسم نصف المسافة التى يقطعها لو أنه عبر المسافة كلها بنفس السرعة

فى الحركة بعجلة ، عندما تتزايد السرعة بصورة مستمرة ، لا نستطيع تقسيم درجات السرعة (أو قيم السرعة بحسب تعبيرنا الحديث) التى تتزايد على الدوام لتصل إلى أى عدد محدود ، لأن تغيرها فى كل لحظة يجعلها غير محدودة دائماً إلى الأبد . وعلى ذلك يكون من الأسهل لنا أن نضرب لأنفسنا مثلا على مثلث مثل ا ب جـ — شكل (٢ — ٥) نأخذ على الضلع ا ج أى عدد يروق لنا من الأجزاء المتساوية ، مثل ا د ، د و ، و ح ، ح ى ، ى جـ ، ونرسم من النقط د ، و ، ح ، ى مستقيمات توازى القاعدة ب جـ ثم نتصور أن الأجزاء التى أخذناها على

(١) عند ما نعبر عن ذلك جبريا نقول : إذا كانت المسافة الكلية المقطوعة فى نهاية الزمن ن هى ن٢ ، تكون المسافة المقطوعة خلال الفترة الأخيرة هى :

ن٢ — (ن — ١)٢ = ٢ ن — ١ (المؤلف) .

(٢) بإذن من كتاب غاليليو غاليلى : (حوار حول النظم الكبرى للعالم) مطبعة جامعة شيكاغو عام ١٩٥٣ . من ص ٢٤٤ إلى ص ٢٤٥ . (المؤلف) .

ا ج هى أزمنة متساوية ، وأن المستقيمات المتوازية المرسومة من النقط د ، و ، ح ، ى تمثل لنا درجات السرعة المتزايدة بعجلة تجعلها تكبر بمقادير متساوية فى أزمنة متساوية . لتكن النقطة ا هى التى تمثل حالة السكون ، فعندما يغادرها الجسم تكون درجة سرعته بعد الزمن ا د هى د هـ . ولنفترض أن السرعة فى الفترة الثانية ازدادت من د هـ إلى و ز ، وهكذا هلم جرا فى الفترات التى تليها بحسب زيادة المستقيمات ح ط ، ى ك .... إلخ. ونظراً لأن العجلة تعمل باستمرار من لحظة إلى أخرى ، ولا ينقطع عملها باستمرار الزمن ، ونظراً لأننا اتخذنا النقطة ا لتمثل أدنى قدر من السرعة ، أو حالة السكون ، واتخذنا المستقيم ا د ليمثل اللحظة الأولى من الزمن الذى يليها ، فمن الواضح أنه قبل أن يحصل الجسم على درجة السرعة د هـ خلال الفترة ا د ، يتحتم أن يسبق ذلك مروره بعدد لا نهائى من الدرجات الأصغر فالأصغر ، التى اكتسبها خلال الفترات اللانهائية العدد الموجودة فى الزمن د ا ، تلك التى تقابل النقط غير المحدودة العدد التى يتكون منها الخط د ا .

وعلى ذلك لكى نمثل العدد اللانهائى من درجات السرعة التى تتمخض عنها الدرجة د هـ ، نحتاج إلى تصور مستقيمات تتناقص أطوالها على التدريج ترسل من نقط د ا اللانهائية العدد بحيث توازى د هـ . ويمثل لنا هذا العدد اللانهائى من الخطوط سطح المثلث ا هـ د . ومعنى هذا أننا قد نتصور أنه خلال أية مسافة يمر بها الجسم ، عندما تبدأ الحركة من حالة السكون تحت عجلة منتظمة ، يكون قد مر بعدد لانهائى من درجات السرعة المتزايدة ، التى يمثلها عدد لانهائى من المستقيمات تبدأ من النقطة ا وترسم موازية للمستقيم هـ د ، وباستمرار الحركة يمكن أن تمثل السرعة بالمستقيمات ز و ، ط ح ، ك ى ، . . . وهكذا كما نشاء .

والآن لنكمل متوازى الأضلاع ا م ب ج ، ثم نمد إلى الضلع ب م كل المستقيمات المتوازية المرسومة فى المثلث إلى جانب ذلك العدد اللانهائى من نفس المستقيمات المتوازية المرسومة من جميع النقط التى يتكون منها الضلع ا ج . فكما يمثل المستقيم ب ج ، الذى هو أكبر هذه المتوازيات فى المثلث ، أعظم درجة للسرعة اكتسبها الجسم المتحرك بعجلة متزايدة ، ويمثل جميع سطح المثلث كتلة ومجموع السرعة كلها ، التى بها يمر الجسم بهذا الحيز بالذات خلال الزمن ا ج ، فإن متوازى

الأضلاع هو الآن مجموعة وكتلة عدد مماثل من درجات السرعة التي تساوى كل منها أكبر قدر ب جـ . وتعادل هذه الكتلة من درجات السرعة ضعف كتلة السرعة المتزايدة فى المثلث ، وحتى يعادل متوازى الأضلاع المذكور ضعف المثلث ، مما يدل على أن الجسم المتساقط ، عندما يجمع فعلا درجات السرعة المتزايدة الممثلة بالمثلث ا ب جـ ، بحيث يقطع فى ذلك الوقت تلك المسافة ، يصبح من المعقول جداً ، ومن المحتمل عندما نستخدم السرعات المنتظمة التى يمثلها متوازى الأضلاع ، أن يكون فى مقدوره أن يقطع بحركة منتظمة مماثلة فى نفس الوقت مسافة تبلغ ضعف تلك التى يقطعها الجسم عندما يتحرك بعجلة .

ورغم أن مثل هذه اللغة فيها كثير من التطويل الذى لا مبرر له ، فإننا يجب أن نتذكر أن هذا الكلام كتب عام ١٦٣٢ ، كما ترجم إلى الإنجليزية (بوساطة توماس سالسبورى) عام ١٦٦١ ! وبصرف النظر عن أن هذه العبارة هى أول صياغة لقانون التساقط الحر ، فإن الفقرة السابقة من المقولات Discorso إنما تتضمن أيضاً أولى خطوات نشوء ما نطلق عليه اسم « حساب التفاضل » ، الذى يحصل فيه على النتائج عن طريق تجميع عدد لا نهائى فى الكبر لكميات متناهية فى الصغر . وتبعاً لطريقتنا الرياضية الحديثة نستطيع كتابة قانون غاليليو للحركة بعجلة منتظمة على النحو الآتى :

$$\text{السرعة} = \text{العجلة} \times \text{الزمن}$$

$$\text{والمسافة} = \tfrac{1}{2}\ \text{العجلة} \times \text{مربع الزمن}$$

وفى حالة التساقط الحر يرمز عادة للعجلة بالحرف جـ (للدلالة على الجاذبية) وهى تساوى ٩٨١ سنتيمتراً فى الثانية فى الثانية ($\frac{\text{سم / ثانية}}{\text{ثانية}} = \frac{\text{سم}}{\text{ثانية}^2}$) . وهى تعنى أنه فى كل ثانية ، بعد أن يشرع الجسم فى السقوط ، تتزايد سرعته بمقدار ٩٨١ سنتيمتراً فى الثانية . وباستخدام الوحدات الإنجليزية — الأمريكية تعادل العجلة جـ ٣٢,٢ قدماً فى الثانية فى الثانية . وعلى سبيل المثال نقول إنه عندما تسقط قنبلة من طائرة تتحرك بعد مضى عشر ثوان بسرعة قدرها :

٩٨١ × ١٠ = ٩٨١٠ سم/ثانية

= ٩٨,١ مترا/ثانية

أو ٣٢,٢ × ١٠ = ٣٢٢ قدم/ثانية

كما أنها تكون قد قطعت مسافة قدرها :

½ × ٩٨١ × ١٠² = ٤٩٠٥٠ سم

= ٠,٤٩ كيلومترا

أو ½ × ٣٢,٢ × ١٠² = ١٠٦١٠ أقدام

ومن بين إضافات غاليليو الهامة فى مجال الديناميكا فكرة الحركة المركبة التى يمكن التعبير عنها بالمثال البسيط الآتى :

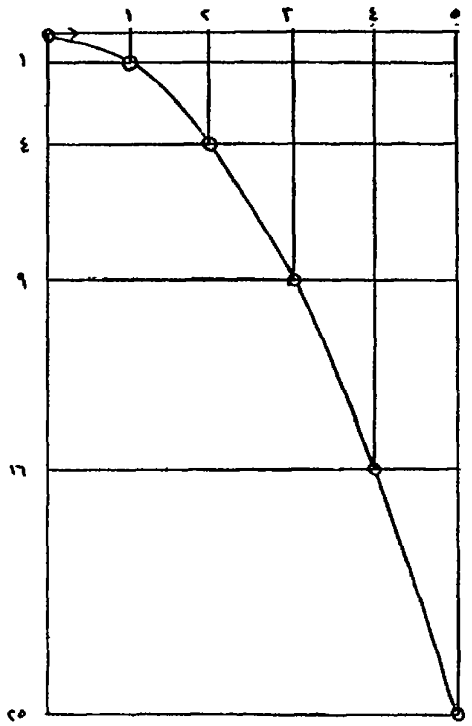
لنفرض أننا نمسك حجراً على ارتفاع خمس أقدام من سطح الأرض ثم تركناه يسقط ، فتبعاً للقاعدة السابقة يصطدم الحجر بالأرض بعد مضى ٠,٩٦ ثانية ، وذلك بطبيعة الحال لأن :

½ × ٣٢,٢ × (٠,٩٦)² = ٥ أقدام .

ولكن ماذا يحدث لو أننا عند إسقاط الحجر أعطيناه سرعة أفقية تساوى مثلا ، (١٠) أقدام فى الثانية ؟ إننا جميعاً نعرف من خبرتنا الشخصية أنه فى مثل هذه الحالة يرسم الحجر مساراً منحنياً ليسقط على الأرض على بعد منا . ولكى نرسم هذا المسار يجب أن ندخل فى الاعتبار أن للحجر حركتين : (١) حركة أفقية ، يتحرك فيها بالسرعة المنتظمة التى أكسبناه إياها لحظة الإطلاق، (٢) حركة رأسية نتيجة التساقط الحر يتحرك فيها بسرعة تتزايد بمضى الوقت .

ويمثل شكل (٢ — ٦) نتيجة إضافة الحركتين ، حيث أخذنا على المحور[1] الأفقى مسافات متساوية تقابل المسافات التى يقطعها الحجر (أو الكرة) ، خلال الثانية الأولى ، فالثانية الثانية ، فالثالثة . . . وهكذا . كما رسمنا على المحور الرأسى

(١) يعرف مثل هذا الشكل بالتمثيل أو الرسم البيانى، حيث يرسم محوران متعامدان أحدهما أفقى يقال له فى العادة محور السينات ، والثانى رأسى هو محور الصادات . ويقسم كل محور بحيث يمكن أخذ قيم أى كمية متغيرة عليه ، ومن ثم تحديد نقطة على الشكل تقابل قراءتين أو قيمتين مختلفتين لمتغيرين مأخوذين على المحورين . (المترجم) .



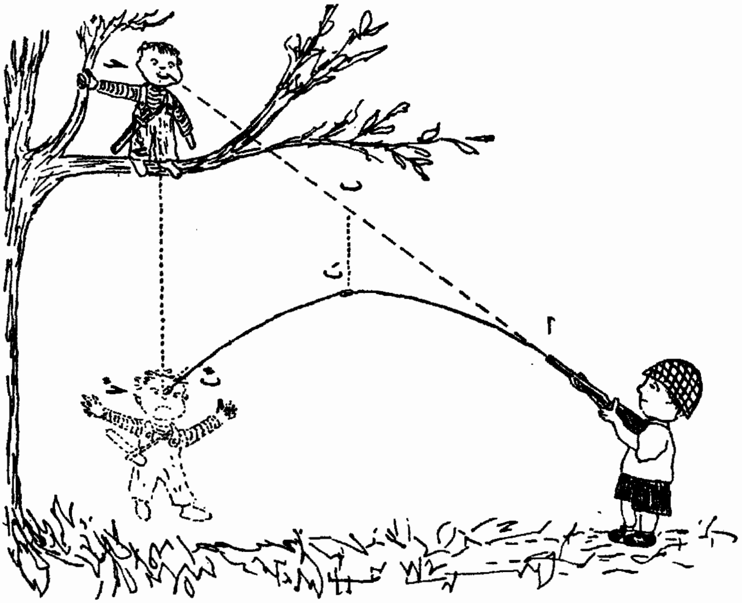
شكل (٢ – ٦)

إضافة (أو تركيب) حركة منتظمة فى اتجاه أفقى إلى حركة ذات عجلة فى الاتجاه الرأسى .
يعرف المنحنى الناتج عن هذه الإضافة باسم القطع المكافئ .

مسافات تتزايد متناسبة مع مربعات الأعداد الصحيحة الكاملة تبعاً لقانون التساقط الحر . وتبين الدوائر الصغيرة الأوضاع الفعلية للكرة فى أثناء سقوطها . وتقع هذه الدوائر على منحن هو القطع المكافئ . وإذا ما عمدنا إلى رمى الكرة بسرعة تبلغ قيمتها ضعف السرعة الأولى ، وجدناها تقطع مسافة أفقية تعادل ضعف المسافة التى تقطعها فى الحالة الأولى ، بينما تظل حركتها الرأسية كما هى ، وعلى ذلك تسقط على بعد من أقدامنا يعادل ضعف البعد الأول ، ولكن الزمن الذى تستغرقه فى الحالتين يظل واحداً ولا يتغير . (لاحظ أننا فى جميع هذه الحالات نهمل احتكاك الهواء ، وهو عامل يؤدى إلى تحوير بسيط فى مسار الكرة المقذوفة) .

ومن التطبيقات الطريفة لنفس هذا المبدأ أو هذه القاعدة مسألة الغلامين اللذين يلعبان دور الخدمة العسكرية أو الحرب فى الغابة – شكل (٢– ٧) – .

ليكن غلام منهما واقفاً على غصن شجرة من الأشجار، ليطلق الثانى عليه رصاص بندقيته (الخرطوش). ثم لنفرض أن هذا الأخير عندما صوب بندقيته تماماً ومباشرة على الغلام الواقف على الغصن ، وفى نفس اللحظة التى ضغط فيها زناد البندقية ، انزلقت قدم الغلام عن الغصن وراح يهوى إلى الأرض . فهل تظن أن هذا السقوط إلى الأرض أنقذه وحال دون إصابته ؟ الجواب عن هذا السؤال هو بالنفى ! وهذا هو السر فى أنه عندما تنعدم الجاذبية تنطلق القذيفة على طول الخط المستقيم ا ب ج



شكل (٢ – ٧)

لما كانت جميع الأجسام تتساقط بنفس العجلة، نجد أنه إذا أطلق غلام، يمثل لعبة حرب الغابة، قذيفة من بندقيته (الخرطوش) مباشرة على (العدو) الرابض فوق غصن الشجرة ، فإن القذيفة تصيب أنف العدو إذا ما تعمد هذا السقوط لحظة الإطلاق .

الممتد إلى النقطة الأصلية التى كان يقف عليها الغلام . وعلى أية حال فإنه تحت تأثير الجاذبية (قبضة الأرض) تبدأ القذيفة فى التساقط لحظة تركها فوهة البندقية ، ونحصل بذلك على حركة مزدوجة : حركة منتظمة على امتداد الخط ا ب ج ، إلى جانب حركة أخرى ذات عجلة فى الاتجاه الرأسى . ولكن لما كانت كل الأجسام

المادية تتساقط بنفس العجلة فإن الحركتين الرأسيتين للقذيفة والصبى تتطابقان بحيث إنه عندما تصل القذيفة إلى النقطة ب التى تقع فى منتصف المسافة إلى الهدف الأصلى، تكون قد تساقطت خلال المسافة الرأسية ب بَ، التى تساوى تماماً المسافة جـ جَ التى يقطعها الصبى فى سقوطه خلال تلك الفترة . وبدلا من أن تصل القذيفة إلى النقطة جـ فى نهاية المدة بفرض انعدام الجاذبية ، نجدها فى تلك اللحظة قد تساقطت خلال المسافة جـً ب التى تساوى المسافة جـ جـً التى قطعها الصبى فى سقوطه . وعلى ذلك تصيب القذيفة أنفه دون شك .

وبدلا من قذف الحجر أو إطلاق قذيفة نارية يستطيع المرء أن يكتفى بإسقاط جسم من مركبة متحركة . لنفرض مثلا أننا أسقطنا حجراً من قمة صارى سفينة تدفعها الآلات بسرعة فائقة (أو سفينة تدفعها المجاديف فى عهد غاليليو) ، فإن الحجر يأخذ نفس السرعة الأفقية التى تنساب بها السفينة ، ولذلك يستمر يتحرك بهذه السرعة الأفقية بعد إسقاطه ، ويظل ملازماً قاعدة الصارى . ولكن نظراً لأن حركة الحجر الرأسية هى حركة تساقط حر تحت تأثير عجلة الجاذبية ، فإن الحجر يسقط تماماً عند قاعدة الصارى . ويحدث نفس الشىء بطبيعة الحال عندما نسقط جسمًا داخل عربة قطار متحرك ، أو داخل (قمرة) طائرة تحلق فى الجو ، مهما بلغت سرعة هذه المركبات.

وفى عصرنا هذا تبدو لنا هذه المسائل كلها بسيطة وواضحة ، ولكن لم يكن الأمر كذلك فى عهد غاليليو . فنى تلك الآونة ساد الاعتقاد — تبعاً لتعاليم أرسطو التى كانت تسيطر آنئذ على الفكر العلمى — بأن أى جسم لا يتحرك إلا إذا وقع تحت دفع قوة معينة ، وأنه يركن إلى السكون بمجرد انقطاع عمل القوة المحركة . وتبعاً لوجهة النظر هذه يهوى الحجر رأسيًّا إلى أسفل مباشرة بمجرد إسقاطه من قمة الصارى فى نفس الوقت الذى تنساب فيه السفينة إلى الأمام (أى من غير أن يتأثر الحجر بحركتها) ، ويكون من المنتظر أن يرتطم الحجر بسطحها قريباً من مؤخرتها . ومن خصائص مدارس العصور الوسطى أو سكولائيتها أن انفرد بمناقشة المسائل التى من هذا النوع المحترفون خلال مدة طويلة ، فلم يهتم أحد مثلا بتسلق صارى السفينة وهى تتحرك ليسقط من قمته حجراً ! !

وتصور لنا الفقرات الآتية من كتاب غاليليو (نقاش حول النظم الكبرى للعالم) الذى نشر عام ١٦٣٢ فى فلورنسة، الموقف تصويراً واضحاً . وقد اقتفى غاليليو أثر كتاب قدماء الإغريق فى إخراج كتابه على صورة حديث بين ثلاثة أشخاص من ڤنيس مدينة العجائب : سالفياتس الذى يأخذ دور المؤلف نفسه، وساجريدس وهو من العامة الأذكياء ، وسمبليسيوس الذى لا يتوافر له الفهم الكافى لمدرسة أرسطو التى يمثلها .

وهاك الحديث الذى دار بينهم حول حجر سقط من أعلى صارى سفينة تنساب فوق اليم ، ثم من أعلى برج شيد على أرض متحركة (كما يقول كبرنيق) .

سالف : يقول أرسطو إن من بين القرائن المقنعة على ثبوت الأرض أن نرى القذائف التى تطلق أو ترمى رأسيًّا تقفل راجعة عموديًّا ، فى نفس الخط الذى سارت عليه لتعود إلى نفس المكان الذى أطلقت أو قذفت منه ، وتسرى صحة هذه القاعدة مهما بلغ ارتفاع القذيفة . وعلى ذلك فمن الأوفق أن نرجع هنا إلى البينة المأخوذة عن قذيفة عندما تطلق رأسيًّا تماماً من مدفع (أو بندقية) ، وكذلك إلى غيرها من القرائن التى ساقها كل من أرسطو وبطلميوس خاصة بالأجسام الثقيلة التى عندما تسقط من أى ارتفاع يشاهد أنها تهبط خلال خطوط مستقيمة عمودية على سطح الأرض . وإذا كان علىّ أن أبدأ بتوحيد هذه العقد فإنى أطالب سمبليسيوس بذلك، أما فى حالة إنكار أحدنا ما ذهب إليه بطلميوس وأرسطو من أن الأجسام عندما تسقط حرة طليقة من عل تنزل على خط مستقيم متعامد[1] ، أى يتجه مباشرة إلى المركز ، فأى وسيلة يمكن أن يستخدمها للتدليل على ذلك ؟

سمب : وسيلتنا إلى ذلك هى الحواس التى نتبين بها أن ذلك البرج أو غيره من المرتفعات يقف معتدلا رأسيًّا ومتعامداً، ونرى أن ذلك الحجر ينزلق على الحائط دون أن ينحرف قدر سمك الشعرة إلى هذا الجانب أو ذاك ، ويصل إلى الأرض تماماً تحت المكان الذى أسقط منه .

سالف : ولكن إذا حدث أن كانت الكرة الأرضية تلف وتدور ، ومن ثم تحمل

---

(١) على سطح الأرض (المترجم) .

معها البرج كذلك، وأن الحجر كشط جانب البرج فعلا وهو ينزلق عليه ، فماذا يجب أن تكون حركته إذن ؟

سمب : فى هذه الحال ربما يكون من الأوفق أن نتحدث عن حركته ، إذ تكون له حركة يهبط بها من القمة إلى القاعدة ، كما تلزمه حركة أخرى يتابع بها مسار البرج المذكور .

سالف : وإذاً يلزم أن تتركب إزاحته من حركتين ،ومن ثم ينتج أن الحجر لا يرسم ذلك الخط البسيط العمودى، ولكن خطًّا مستعرضاً وربما لا يكون مستقيماً .

سمب : لا أستطيع أن أقول شيئاً عن عدم استقامته ، ولكنى أعرف جيداً أنه من اللازم أن يكون المسار مستعرضاً .

سالف : أنت ترى معى إذن أن مجرد رصد الحجر الساقط ومشاهدته ينزلق على طول البرج ليس معناه حتماً الجزم بأنه يرسم خطًّا مستقيماً وعموديًّا ما لم تفترض أولا أن الأرض ثابتة لا تتحرك .

سمب : هذا حقيق ، لأنه لو كانت الأرض تتحرك لأصبح مسار الحجر مستعرضاً وليس متعامداً .

سالف : ويتمخض دفاع أرسطو إذاً عن استحالة ، أو على الأقل عن اعتباره أمراً مستحيلا أن يكتسب الحجر خليطاً من الحركة المستقيمة والحركة الدائرية، لأنه إذا لم يعتبر من المستحيلات إمكان تحرك الحجر فى الحال تجاه المركز ومن حوله، كان عليه أن يدرك بداهة أن الحجر الساقط يجوز فى أثناء هبوطه أن يخدش البرج، سواء تحرك هذا أم لم يتحرك . وعلى ذلك فقد كان لا مناص من ألا يرى شيئاً يمكن أن يستنتج من هذا الخدش خاصًّا بحركة الأرض أو سكونها . ولكن هذا لا يعنى أرسطو بحال ، فقد كان عليه أن يعبر عن هذه الفكرة لو أنها توافرت لديه ، لأهميتها وضرورتها كجزء من دفاعه ، وأيضاً لأنه لا يمكن التسليم بأن مثل تلك الظاهرة يعد أمراً مستحيلا، أو لأن أرسطو اعتبرها كذلك بالعقل . ولا داعى لتأكيد الأمر الأول ، لأننى فى سياق حديثى سوف أبين أنه ليس محتملا فحسب بل هو ضرورى كذلك . كما أنه لا لزوم لإثبات الثانى ، لأن أرسطو نفسه يفترض أن النار تسرى بحسب الطبيعة فى خط مستقيم ، كما تسرى من حولها مع الدورة

اليومية التى تسبغها السموات على عنصر النار كله وأغلب أجزاء الهواء العلوى . فلو أنه اعتبر من الممكن خلط الحركة المستقيمة إلى أعلى مع الحركة الدائرية التى تسبغ على النار والهواء من تجويف كرة القمر لهان عليه أمر إمكان خلط حركة الحجر المستقيمة إلى أسفل مع حركته الدائرية التى نفترضها شيئاً طبيعيًّا لكل الكرة الأرضية ، التى يكون الحجر جزءاً منها .

ونجد بعد ذلك فى « كتاب الحوار » أن سالفياتس يقترح إجراء تجربة مثيرة ليدلل بها على وجهة نظره التى أوضحتها فى نقاشه السابق .

سالف : وإذا لم أكن مخطئاً ، فإن إثارتك الشك حول هذا الأمر أكثر من غيره إنما يتوقف على ما أمدت به الطيور بما يكفل لها استخدام قواها حسبما أرادت ضد الحركة الابتدائية للأجسام الأرضية : فمثلا نحن نراها تطير إلى أعلى وهو أمر يلزم أن يكون مستحيلا تماماً على الأجسام الثقيلة ، على حين أنها عندما تموت لا تستطيع إلا السقوط إلى أسفل ، وعلى ذلك يمكننا أن نتبين أن القواعد التى تنطبق على جميع القذائف المذكورة سابقاً لا يمكن انطباقها على الطيور . ولما كان هذا الأمر مما لا شك فيه فإننا نرى الطيور الحية تتصرف بطريقة تختلف عن الأجسام عندما تهوى إلى الأرض . فإذا ما أسقطنا من قمة برج من الأبراج طائراً ميتاً وآخر حيًّا ، فإن الطائر الميت يفعل نفس الشىء الذى يفعله الحجر ، أى إنه سوف يتبع أولا الحركة اليومية العامة ، وبعد ذلك حركة الهبوط تماماً مثل الحجر . أما إذا كان الطائر حيًّا عند إسقاطه فما الذى يمنعه (مع بقاء الحركة اليومية فيه إلى النهاية) من الحركة بمساعدة جناحيه ليقصد أى نقطة يرغبها فى الأفق ؟ ولما كانت هذه الحركة الجديدة مقصورة على الطيور ونحن لا نشاركها فيها ، فإنه لا مناص لنا من رصدها ومشاهدتها . ومجمل القول أنه لا يختلف طيران الطير عن إطلاق القذائف أو الدفع بها إلى أى مكان فى العالم فى شىء سوى أن القذائف تتحرك بمؤثرات خارجية ، بينما تحلق الطيور تبعاً لمبدأ داخلى . ولكى نعطى برهاناً أخيراً على عدم إيجابية كل التجارب التى أجريت من قبل ، أرى أن الوقت قد حان والمكان يصلح لعرض وسيلة نبين بها كيف تعمل محاولة صادقة لها جميعاً .

اقفل عليك مع صديق لك باب أكبر غرفة تحت سطح سفينة كبيرة ومعكما

عدد من البعوض والذباب وغيرها من الكائنات الصغيرة ذات الأجنحة ، بعد أن تكون قد أحضرت معك إناء كبيراً به ماء بداخله بعض الأسماك ، وعلقت زجاجة فى السقف يقطر منها الماء نقطة نقطة متساقطاً داخل فوهة ضيقة لزجاجة أخرى موضوعة تحتها . بعد ذلك لاحظ ، والسفينة ساكنة لا تتحرك ، كيف تطير تلك الحيوانات الصغيرة المجنحة بسرعة متجانسة تجاه كافة أرجاء الغرفة ، وكيف تعوم الأسماك دون تمييز بين جوانب الإناء ، وكيف تتساقط جميع النقط التى تقطر من الزجاجة العليا داخل الزجاجة السفلى . وإذا ما أردت أى شيء من صديقك فإنه لا يحتاج لكى يدفعه إليك إلى قوة أكبر فى اتجاه أو آخر ما دامت المسافات متساوية ، وعندما تعمد إلى القفز بكل قواك تجد أن المسافة التى تقطعها تظل ثابتة إلى أى جهة ترغبها . وبعد ملاحظة كل هذه الدقائق ، ورغم أنه لا ينكر أحد أن الأمور تجرى على هذا النحو ما دامت السفينة ساكنة ، اجعل السفينة تتحرك بأى سرعة تعجبك بشرط أن تظل الحركة منتظمة من غير ذبذبة هنا أو هناك ، تجد أنه يستحيل عليك تمييز أى تغير يطرأ على الظواهر السابق ذكرها ، كما أنه لا يمكنك أن تحكم عن طريق أية ظاهرة منها ما إذا كانت السفينة تتحرك أو لا تتحرك بتاتاً ، وعلة ذلك أن حركة السفينة يعتادها كل ما فيها ويعتادها الهواء كذلك ، أعنى لو أن الغرفة أغلقت على هذه الأشياء . أما إذا كانت فوق سطح السفينة فى الهواء الطلق ولم تجبر على ملازمة السفينة ، فإنه ينجم عن ذلك ملاحظة بعض الفروق تطرأ على الدخان وعلى جانب من تلك الظواهر . وليس من شك أن الدخان يتخلف على قدر الهواء نفسه . والذباب كذلك والبعوض يعوقه الهواء ولن يتمكن من متابعة حركة السفينة إذا ما فصل عنها بأى مسافة ، إلا أنه يظل قريباً منها ، لأن السفينة بحكم أنها تركيب غير قابل للتجزئة ، تحمل معها جانباً من أقرب هواء لها ، وبذلك تتبع هذه الأشياء السفينة دون أى مشقة أو صعوبة . ولنفس هذا السبب نرى أحياناً فى مراكز ركوب الخيل أن ذباب الخيل المضنى يتبعها ، فيحط تارة على جزء من جسمها ثم يطير إلى جزء آخر تارة أخرى . أما فى حالة النقط المتساقطة فإن الفرق يكون طفيفاً جداً يكاد لا يدرك ، وكذلك الحال مع قفزات الأجسام الوئيدة المتزنة .

ساجر : رغم أنه لم يخطر ببالى أن أجرى مثل هذه المشاهدات عندما كنت

فى البحر ، إلا أننى واثق من أنها صادقة على النحو الذى وصفته . وتأكيداً لذلك أتذكر أننى عندما كنت فى (قمرتى) تساءلت مائة مرة عما إذا كانت السفينة تتحرك أو واقفة فى مكانها ، وكنت أحياناً أتصورها تتحرك فى اتجاه معين فى الوقت الذى كانت تنساب فيه فى الاتجاه المضاد . وعلى ذلك فإننى راض تماماً ومقتنع بعدم صلاحية جميع تلك التجارب التى أثبتت العكس .

والآن يبقى الاعتراض القائم على ما تثبته لنا الخبرة وتدل عليه ، وهو أن حركة الدوران السريعة لها فعل الطرد والتشتيت للمواد الملتصقة بآلة الدوران . وقد بنى الكثيرون ، ومنهم بطلميوس ، على هذه الحقيقة فكرة أنه إذا كان من الضرورى أن تدور الأرض وتلف بمثل تلك السرعة العظيمة ، وجب أن يندفع كل ما على سطحها من حجارة وكائنات إلى السماء ، ولن تكون هناك مادة بناء تبلغ من القوة ما يتيح لنا فرصة تثبيت المبانى فى أساسها ، فتلقى نفس المصير .

وفى عصرنا هذا تعرف العبارة القائلة بأنه يستحيل التحقق من أن السفينة راسية أو تنساب عبر البحر عن طريق إجراء أى تجربة ميكانيكية فى داخل (قمرة) مقفلة باسم « مبدأ النسبية لغاليليو » ، ولقد مرت قرون ثلاثة تطور خلالها علم الفيزياء حتى ظهر ألبرت أنشتين فعمم هذا المبدأ عندما نرصد الظواهر الضوئية والكهرومغناطيسية فى مكان مقفل يسير بسرعة منتظمة . ولقد وقفت إضافات غاليليو فى ميدان علم الميكانيكا عند هذا الحد .

غاليليو الفلكى

وبالإضافة إلى أن غاليليو كان من أوائل الفيزيائيين التجريبيين والنظريين ، فقد قام بكشوف هائلة عديدة فى علم الفلك ، وبصر الإنسانية بآفاق الكون الواسعة التى لا حدود لها من حولنا . وأول ما أثارت السماء انتباهه كان عام ١٦٠٤ ، عندما ظهر فجأة وعلى حين غرة نجم لامع (نطلق عليه اليوم اسم النوفا novae) * فى إحدى الليالى بين مجموعة النجوم الثوابت التى يعرفها راصدو النجوم منذ آلاف

---

* معناها النجوم الحديثة ، إلا أن (المترجم) يطلق عليها فى مؤلفاته اسم النجوم البراقة ؛ وذلك نظراً لأن اللمعان وشدة البريق من أهم صفات هذه النجوم (المترجم) .

السنين . وبرهن غاليليو ، وكان فى ذلك الحين قد بلغ من العمر أربعين عاما ، على أن النجم الجديد كان نجماً بالفعل ولم يكن نوعاً من أنواع الشهب فى جو الأرض ، كما تنبأ بأنه سوف يقل لمعانه ويخبو تدريجيًّا . ولقد سبب ظهور نجم جديد فى كبد السماء — تلك التى لا سبيل إلى تغييرها على الإطلاق تبعاً لفلسفة أرسطو وتعاليم الكنيسة * — سبب وخلق لغاليليو كثيراً من الأعداء من بين زملائه العلميين ومن بين مراكز الألكبروس العليا . ولم تمض غير سنوات معدودات على تلك الخطوة التى خطاها من أجل دراسة السماء حتى قام غاليليو بثورة فلكية عظمى ، عندما أتم بناء أول منظار فلكى وصفه بالكلمات الآتية :

« منذ نحو عشر سنوات مضت بلغت مسامعنا إشاعة فحواها أن جهازاً بصريًّا أتقن صنعه بمعرفة رجل هولندى ، وأمكن به مشاهدة الأشياء المرئية مقربة بحيث تصير كأنما هى بين أيدينا مهما كان بعدها عنا . وتسربت أخبار هذا الجهاز وشاعت بين الناس قصته الرائعة وآمن بها بعض ، وصدقها وأنكرها بعض آخر . ولقد وضحت لى الحقيقة منذ بضعة أيام فقط ؛ وذلك بعد أن وصلنى خطاب من باريس من النبيل الفرنسى يعقوب بادوفير ، مما دفعنى فى النهاية إلى توجيه كل جهودى وطاقتى للبحث عن النظرية والكشف عن الطريقة التى يمكن أن تقودنى إلى اختراع جهاز مماثل . ولقد نجحت فى ذلك فيما بعد ولما يمض على دراستى لنظرية الانكسار زمن طويل ، وبدأت أول الأمر بإعداد أنبوبة من الرصاص ، ثبتت فى طرفيها عدستان من الزجاج ، لكل منهما وجه مستو ، ولإحداهما سطح كروى مقعر ، وللأخرى سطح محدب على الجانب الآخر . . . »

ولما فرغ من بناء جهازه وجهه إلى السماء ، فرأى بدائع الكون وشاهد روائعه

---

* سبق القرآن ركب العلم بعشرات القرون إذ يقول فى هذا المجال :

(١) « والسماء بنيناها بأيد وإنا لموسعون » (الذاريات ٤٧) .

(٢) « والسماء والطارق ، وما أدراك ما الطارق ، النجم الثاقب » (الطارق ١ — ٣) .

(٣) « وسخر الشمس والقمر كل يجرى إلى أجل مسمى » (لقمان ٢٩) .

(٤) « ولله ملك السموات والأرض وما بينهما يخلق ما يشاء » (المائدة ١٧) .

(٥) « قل انظروا ماذا فى السموات والأرض » (يونس ١٠١) .

(٦) « وكأين من آية فى السموات والأرض يمرون عليها » (يوسف ١٠٥)

ولعل معانى هذه الآيات واضحة جلية فى مثل هذا المقام (المترجم) .

أمام ناظريه ، ولقد رصد القمر فألفى أن سطح القمر ليس بالسطح الأملس تماما ، وهو لا يخلو من التجاعيد كما لا يعتبر صادق الاستدارة ، كما يصوره مع غيره من أجرام السماء فريق كبير من الفلاسفة . ولكن على العكس من ذلك تنتشر على سطحه الوعر التجاعيد ، وتكثر الأخاديد ، وتسود النتوءات تماماً كما هو الحال على سطح الأرض نفسها ، الذى تكتنفه فى كل مكان الجبال وتسود الوديان العميقة .

ونظر إلى الكواكب فوجد أن :

الكواكب تظهر على هيئة أقراص كاملة الاستدارة ، وكأنما رسمت بزوج من الفرجار ، وهى تبدو فى مجموعها كعدة أقمار صغيرة ، عظيمة الاستضاءة ، وكروية الشكل . ولكن النجوم الثوابت لا تظهر حافة النجم منها للعين المجردة (لابد أن تكون هذه أول مرة استخدم فيها هذا التعبير) فى قالب القرص المستدير ، وإنما يرى النجم فى الغالب كشعلة من الضوء تشع منها حزم مضيئة تنطلق من جميع الجوانب على هيئة الشرر المتقد . وتظهر هذه النجوم خلال المنظار المكبر (التلسكوب) بنفس الشكل الذى نراه عندما نرصدها بمجرد النظر إليها .

ونظر إلى المشترى فى السابع من يناير عام ١٦١٠ ، وقال :

هناك ثلاثة نجوم صغار ،وهى برغم صغرها شديدة اللمعان وتقع بجوار الكوكب. ورغم أننى اعتقدت أنها تنتمى إلى مجموعة النجوم الثوابت ، فإنها جعلتنى أتعجب إلى حد ما ، لأنها بدت كأنها مرتبة على خط مستقيم يوازى الدائرة الكسوفية ، وكان لمعانها يزيد على لمعان باقى النجوم ولكنها تساويها فى القدر أو الحجم . . . وعلى الجانب الشرقى ظهر نجمان ، على حين لم يكن فى الغرب سوى نجم واحد . . . ولكن عندما ساقنى القضاء والقدر فى الثامن من يناير وحملنى على النظر مرة أخرى إلى نفس الركن من السماء وجدت الوضع قد تبدل تماماً ، فقد ظهرت لى ثلاثة نجوم صغار كلها إلى الغرب من المشترى ، وكانت أكثر قرباً فيما بينها عن ذى قبل (بالنسبة لما كانت عليه فى الليلة الماضية) .

وعلى ذلك قرر غاليليو أن :

فى السماء ثلاثة نجوم تسبح حول المشترى ، كما يسبح عطارد والزهرة حول الشمس .

ورصد عطارد والزهرة واكتشف أنهما يأخذان أحياناً شكل الهلال ، تماماً كما يفعل القمر ، ومن ثم استنتج أن :

كلا من عطارد والزهرة يسبح حول الشمس كما تسبح باقى الكواكب السيارة، وهى حقيقة آمنت بها المدرسة البيثاجورية من أمثال كبرنيق وكبلر ، إلا أنها لم تثبت بالدليل الحسى ، كما هو الحال اليوم مع عطارد والزهرة .

ونظر إلى الطريق اللبنى* فألفاه :

. . . . لا يعدو كونه كتلة غير محدودة العدد من النجوم موزعة فى مجموعات

ولقد كانت اكتشافات غاليليو التى حصل عليها باستخدام المنظار المكبر بمثابة البرهان القاطع الذى لاسبيل إلى دحضه أو إنكاره، والذى يدل على صحة رأى كبرنيق وتصويره للعالم . فراح يتحدث عنه ويهلل له ، إلا أن ذلك تحدى القدر الذى كانت تسمح به محاكم التفتيش ، وألقى القبض عليه ، ومكث مدة طويلة فى معزل عن الناس رهن المحاكمة ، ولكن يلوح أن هذا لم يغير من طبيعته وروحه المكافحة . ففى ١٥ من يناير عام ١٦٣٣ ، قبل محاكمته النهائية بشهور قلائل ، كتب غاليليو إلى صديقه إيلا ديوداتى يقول :

« ولو أننى سألتهم : من صنع الشمس، والقمر، والأرض ، والنجوم ، ونظم حركاتها ؟ سيقولون إنها من عمل الله . ولكن عندما أضمن سؤالى الاستفهام عن صانع الكتاب المقدس ، يقولون لى إنه من عمل الروح القدس دون شك ، أى من صنع الله كذلك . وهنا عندما أسأل عما إذا كان الروح القدس يستعمل من الألفاظ ما يناقض به الحقيقة تماماً، من أجل إقناع أفهام الجموع** غير المثقفة ، فإنى على يقين من أنهم سوف يقولون لى ، بعد اقتباسات عديدة من جميع الكتاب المقدسين الأطهار ، بأن هذه هى ولا ريب طريقة أو عادة الكتاب المقدس ، الذى يحتوى على مئات الفقرات التى عندما تؤخذ حرفياً لا تتمخض إلا عن هرطقة وكفر ؛ إذ أن فيها يبدو الله ككائن ملىء بالحقد والكراهية والإثم مع الغفران .

* يقال له كذلك طريق التبانة لشبه بينه و بين منظر اللبن أو التبن المتناثر على طول طريق ناقليه . (المترجم) .

** يعنى سواد الناس (المترجم) .

وعند ذلك إذا ما سألت عما إذا كان الله ، لكى يفهمه سواد الناس ، عمد مرة من المرات إلى تغيير سنته ، أو عما إذا كانت الطبيعة ، تلك التى لا تتغير ولا تدركها رغبات البشر ، لا تحتفظ دائماً بنفس أنواع الحركة وأشكالها وأقسام الكون .. فإنى واثق من أنهم سوف يقولون لى : إن القمر كان وسيظل مستديراً أبد الدهر رغم أنه اعتبر مسطحاً خلال فترة طويلة . ومجمل كل هذا فى عبارة واحدة هو : لن يوافق أحد على أن الطبيعة تغيرت ولو مرة واحدة من أجل أن تجعل سنتها وأعمالها سائغة لذيذة الطعم لدى البشر ، وإذا كان هذا هو الشأن فإنى أتساءل : إذن لماذا يتحتم علينا ، من أجل فهم أركان العالم المختلفة ، أن نبدأ بدراسة كلمات الله وتمحيصها ، دون البحث فى خلقه والتفكير فيه . فهل معنى ذلك أن (العمل) : هو أقل قيمة وتقديراً من (الكلمات) * ؟ فإذا كان هناك من يحكمون بكفر ومروق القائل بدوران الأرض وخروجه على الدين ، ثم دلت القرائن والتجارب بعد ذلك على صحة هذا القول ، فما هى المتاعب التى سوف لا تواجهها الكنيسة ؟ أما على العكس من ذلك إذا نحن كلما وجدنا خلافاً بين (كلمات الإنجيل) و (أعمال الله) ، اعتبرنا الكتاب المقدس فى المرتبة الثانية ، فإنه لن يلم به أذى أو يحيق به ضرر ، إذ طالما غير الكتاب وبدل ليلائم سواد البشر ، ولكم من مرة نسب إلى الله صفات خاطئة . وعلى ذلك فمن واجبى أن أعرف لماذا نحن نصر على أن الإنجيل ، عندما يتحدث عن الشمس أو عن الأرض ، يكون من واجبنا أن نعتبر ما فيه معصوماً من الخطأ » .

---

* ليس عجيباً أن تطابق هذه المعانى كلها نفس ما نادى به القرآن من مبدأ التفكير فى الكون وسننه ودراسته ، فالتفكير السليم يصل بصاحبه دائماً إلى النتائج الطبيعية الصحيحة . انظر إلى قوله تعالى مثلا :

(١) « قل سيروا فى الأرض فانظروا كيف بدأ الخلق » (العنكبوت ٢٠)
(٢) « ويتفكرون فى خلق السموات والأرض » (آل عمران ١٩١)
(٣) « أولم ينظروا فى ملكوت السموات والأرض وما خلق الله من شىء » (الأعراف ١٨٥)
(٤) « وفى الأرض آيات للموقنين » (الذاريات ٢٠)
(٥) « ومن آياته خلق السموات والأرض واختلاف ألسنتكم وألوانكم إن فى ذلك لآيات للعالمين » (الروم ٢٢)
(٦) « إنما يخشى الله من عباده العلماء إن الله عزيز غفور » (فاطر ٢٨)
(٧) « أفلم ينظروا إلى السماء فوقهم كيف بنيناها وزيناها » (ق ٦)
(٨) « إن فى خلق السموات والأرض واختلاف الليل والنهار لآيات لأولى الألباب » (آل عمران ١٩٠)
إلى غير ذلك من عديد الآيات التى تتناول أركان الكون المختلفة (المترجم)

وفى ٢٢ من يونيو عام ١٦٣٣ ، وكان قد بلغ التاسعة والستين ، حضر أمام قاضى المكتب المقدس للكنيسة ، فركع على ركبتيه وراح « يعترف » قائلا :

«أنا ، غاليليو غاليلى ، ابن المرحوم فنستزيو غاليلى من فلورنسة ، عمرى سبعون سنة ، * حضرت بنفسى للمحاكمة ، وهأنذا أركع أمامكم أيها السادة الكاردينالات الأفذاذ المبجلين ، ممثلى الكنائس العالمية ضد الخروج عليها وعلى تعاليمها . إننى أقسم وقد وضعتم أمام نظرى الإنجيل المقدس الذى ألمسه بيدى – على أننى كنت دائماً أومن ، وسوف أظل أومن بعون الله فى المستقبل ، بكل آية تؤمن بها أو تعلمها أو تبشر بها كنيسة رومة الكاثوليكية الرسولية . ولكن نظراً لما أتمتع به من شرف المثول بين يدى المكتب المقدس ، لأطرحن جانباً وأنبذن بصفة قاطعة فكرتى الخاطئة التى تؤيد كون أن الشمس هى المركز ** وأنها لا تتحرك ، فقد حرمت أن أعتنق ، أو أدافع أو أعلم هذا المبدأ الخاطئ المذكور بأية وسيلة كانت . . . وإننى لأرغب فى أن أزيل من عقول سموكم ، وكذلك من عقل كل مسيحى كاثوليكى ، هذا الشك المريب الذى وجهت تهمته إلىّ ، ولذلك فإننى أعلن أننى أنكر ، بل ألعن وأمقت ، تلك الأخطاء المذكورة ، وهذه الهرطقة المزرية ، بقلب يغمره الإيمان والصدق الذى لا رياء فيه ولا مواربة أو تضليل ، وكذلك أنكر بصفة عامة كل خطأ آخر أو مذهب لا يتفق مع الكنيسة المقدسة المذكورة . وإنى لأقسم بأننى لن أقول مرة أخرى فى المستقبل ، أو أنقل أى شىء شفاهاً أو كتابة ، تنجم عنه ريبة فى أمرى كهذه . وسوف إذا ما سمعت أى رأى لا يتفق مع الدين ، أو عرفت أى شخص أشك فى عقيدته ، سوف أخبر به المكتب المقدس أو محكمة التفتيش حيثما كان مكانى . وإنى لأقسم أكثر من ذلك ، كما أعد بأننى سوف أراعى تماماً حدود توبتى هذه التى يطالبنى بها هذا المكتب المقدس . وإذا صادف أن انتهكت حرمتها ، ولم أبر بجانب من وعودى آنفة الذكر ، وقسمى وإيمانى ، ولم أنبذ ما حرم الله ، فإنى أعرض نفسى لشتى أنواع الآلام وألوان العذاب والعقاب التى أقرتها الكتب الدينية وتحدثت عنها ، وكذلك غيرها من القوانين العامة والخاصة ضد المذنبين المارقين . وإنى لأسأل الله

---

* هذا هو النص الأصلى لمحاكمة غاليليو ، إلا أن عمره آنئذ كان فعلا ٦٩ سنة و ٤ شهور و ٧ أيام . (المؤلف)

** أى بالنسبة لعالمنا أو مجموعتنا الشمسية (المترجم) .

العون والمساعدة بفضل كتابه المقدس الذى ألمسه بيدىّ . وأنا غاليليو غاليلى آنف الذكر ، أقسم جهد أيمانى ، وأعد بأن ألزم نفسى بما قلت . وأمام الشهود الحاضرين أوقع بيدى بالذات على هذا المخطوط الذى أمامكم الخاص بهذا العهد الذى قرأته كلمة كلمة » .

وهناك قصة تروى عن غاليليو عقب « محاكمته » مباشرة ، فقد قيل إنه عقّب بقوله : « أبورسى موفى Eppur si muove » ، أى (ومع ذلك فهى تتحرك) ! إلا أن هذه الرواية ليست صحيحة تماماً ، والغالب أن أساسها قصة قديمة تنسب هذه الكلمات إلى غاليليو عندما كان يراقب اهتزاز ذنب كلب صديق دخل خطأً إلى المكتب المقدس .

ولما حكم عليه بالإلحاد لازم غاليليو مسكنه فى ارسّرى بجوار فلورنسة تحت ما قد نطلق عليه اليوم اسم « بيت تحديد الإقامة » .

وفى الثامن من يناير عام ١٦٤٢ مات غاليليو وقد فقد بصره تماماً وأضنته الحياة .

قال الله : « ليكن نيوتن * » .

فى نفس السنة التى مات فيها غاليليو فى عزلته بفلورنسة ، رزق فلاح من لنكولنشير يقال له « نيوتن » بطفل ، سابق لجيله ، أسماه « إسحق » . ولم يظهر « إسحق » هذا خلال السنين الأولى من حياته المدرسية أية دلالة تشير إلى سبقه وتفوقه فى مضمار العلوم ، بل على العكس من ذلك كان يبدو فى صباه معتل الصحة ، خجولا ، لا أثر للنبوغ فيه . وأول ما بدأ ينفض عنه هذه السمات كان إثر نزاع نشب بينه وبين زميل له فى المدرسة تميز بالعنف والخيلاء على غيره من الصبية ، لما كان يزهى به من تفوق علمى وانتماء إلى صفوف الطلبة الممتازين فى الفرقة . وما إن ضربه هذا الطالب الفحل (الذى نسى التاريخ اسمه) فى بطنه ، حتى تحداه نيوتن للقتال ، وكانت له الغلبة لما جبل عليه (أى نيوتن) من « الروح العالية والعزم » . ولما انتصر هكذا بقوة جسده عليه آلى على نفسه أن يواصل النصر فى معركة الذكاء ، وراح يواصل العمل بجد ونشاط حتى أصبح أول فرقته . وفاز « نيوتن » كذلك فى معركة أخرى ، خاضها ضد أمه عندما رغبت أن يشتغل فى مستقبله بالزراعة ، إلا أنه فى الثامنة عشرة التحق بكلية (ترينيتى) وكرس حياته لدراسة الرياضة ، فحصل على درجة البكالوريوس عام ١٦٦٥ بمرتبة عادية دون تمييز خاص .

تقدم مدة الوباء

وفى منتصف صيف عام ١٦٦٥ هبط لندن وباء الطاعون المشهور ، فسبب وفاة شخص واحد من بين كل عشرة أشخاص من أهل لندن خلال بضعة أشهر

* من بيت شعر قاله الكساندر بوب (١٦٦٨ — ١٧٤٤) :

« يحجب الطبيعة ونظمها عنا ليل حالك الظلام فلما قال الله : (ليكن نيوتن) صارت ضياء للأنام »
(المؤلف)

من انتشاره . وفى الخريف أغلقت جامعة كمبردج أبوابها لقربها من مركز الوباء ، وعاد الطلبة إلى منازلهم . وهكذا آب نيوتن إلى بيت والديه فى لنكولنشير ، حيث مكث ثمانية عشر شهراً حتى فتحت أبواب الجامعة من جديد .

وكانت تلك الأشهر الثمانية عشر التى قضاها فى عزلته الريفية أكثر الفترات إنتاجاً فى حياته . ويمكن القول بأنه خلال تلك الفترة فكر فى أغلب الآراء التى يدين له بها العالم اليوم .

وفيما يلى كلماته بالذات :

« وفى أوائل عام ١٦٦٥ وجدت الـ . . . . قاعدة لتحويل أى ا س فى ذات الحدين إلى متوالية * . وفى نفس السنة ، فى أول مايو ، توصلت إلى طريقة المماسات . . . وفى نوفمبر عرفت الطريقة المباشرة للفيض (هى مبادئ ما نسميه اليوم حساب التفاضل) . وفى نفس ذلك العام شرعت أفكر فى الجاذبية وأتصورها ممتدة إلى مدار القمر . . . و . . . وقارنت بين القوة اللازمة لبقاء القمر فى فلكه مع قوة الجذب على سطح الأرض » .

وكرس باقى حياته العلمية لتطوير تلك الآراء التى فكر فيها فى لنكولنشير .

فلما بلغ السادسة والعشرين عين أستاذاً بجامعة كمبردج ، ولما بلغ الثلاثين تم اختياره عضواً بالمجمع الملكى ، وهو أعظم شرف علمى فى إنجلترا . ويقول الذين كتبوا قصة حياته إنه كان مثالا ناطقاً للأستاذ « الشارد العقل » ، ومن أوصافهم : « لم يكن ليأخذ بأى نوع من أنواع الراحة أو التسلية أو اللهو ، لا بالركوب فى الهواء ، أو المشى أو لعب الكرة ، ولا بأى نوع آخر من أنواع التمارين الرياضية مهما كان نوعها ، بل كان دائم التفكير طول الوقت الذى لا يمضيه فى الدراسة » . وكثيراً ما كان يواصل العمل حتى ساعات الصبح القليلة ، وينسى وجبات طعامه . وعندما يظهر مرة بين الفينة والفينة فى صالة الأكل بالكلية « يكون حذاؤه خارجاً إلى كعبه ، وجواربه متدلية غير مشدودة ، وهو يحمل قميصه ، وقد تبعثر شعر رأسه » . ونظراً لأنه كان مشغولا دائماً بأفكاره ، مسترسلا فيها ، فقد كان عصبياً جداً ، غير موفق فى مسائل الحياة اليومية . ويقال إنه عمد مرة إلى عمل ثقب فى باب

* هى نظرية ذات الحدين لنيوتن التى تدرس اليوم ضمن برامج الدراسات العليا فى الجبر (المؤلف)

بيته لتدخل وتخرج منه قطته . فلما أنجبت مجموعة من الهرات الصغيرة ، أضاف إلى الثقب الصغير طائفة من الثقوب الصغيرة بعدد الهرات .

وكإنسان ، لم يكن نيوتن مرحاً تماماً أو سعيداً ، فكثيراً ما شغلت باله مشاغبات زملائه ومشاحنتهم له ، وقد يكون ذلك انعكاساً للنضال القديم الذى دار بينه وبين زميله فى المدرسة . وكان يشغل باله كذلك الشجار المرير الذى احتدم بينه وبين أحد المشتغلين بالفيزياء فى كمبردج هو روبرت هوك (الذى وضع أساس نظرية المرونة) ، بخصوص نظريته فى الألوان ، والأسبقية فى الوصول إلى الجاذبية العالمية . وأثار أيضاً مسألة أسبقية أخرى مع أحد الرياضيين الألمان المسمى جتفريد ليبنتز بخصوص اختراع حساب التفاضل والتكامل ، وأسبقية غيرها مع كرستيان هيجنز الهولندى بخصوص نظرية الضوء . ولقد وصفه عالم الفلك جون فلامستيد ، الذى لم يكن ليتحدث مع نيوتن ، بقوله إنه « مكار ، مخادع ، طموح ، شديد الحسد من الثناء على الغير ، ولا يتحمل المعارضة . . . إلا أنه طيب القلب ، رغم أن من طبيعته الريبة والشك » .

واشتغل نيوتن خلال السنين التى قضاها فى كمبردج وكدّ فى الوصول إلى آرائه الفذة التى فكر فيها بين الثالثة والعشرين والخامسة والعشرين من عمره ، إلا أنه احتفظ بسرية أغلب ما توصل إليه . ويفسر لنا هذا حقيقة أن النص الكامل نشر فى أثناء حياته بعد ذلك بكثير : أعماله فى الميكانيكا والجاذبية فى عمر الرابعة والأربعين ، وأعماله فى الضوء فى عمر الخامسة والستين .

برنسبيا * نيوتن

كتب نيوتن فى المقدمة (المؤرخة فى ٨ من مايو ١٦٨٦) لكتابه « الأسس الرياضية للفلسفة الطبيعية ** » يقول :

« منذ اعتبر الأقدمون علم الميكانيكا من ألزم العلوم لدراسة الأشياء الطبيعية ، ومنذ شرع المشتغلون بالعلم فى هذا العصر ، عن طريق نبذ الصيغ والتقاليد القديمة ، والصفات الغامضة المبهمة ، فى تعريض أو شرح ظواهر الطبيعة بالقوانين الرياضية ، حاولت فى هذه المقالة أن أستخدم الرياضة إلى أبعد مدى فى ميدان

* Principia معناها أسس (المترجم) .

** كانت الفلسفة الطبيعية فى ذلك الوقت تعنى دراسة قوانين الكون . (المؤلف) .

الفلسفة الطبيعية . ولقد سبق أن استخدم الأقدمون علم الميكانيكا فى مجالين ، كشىء منطقى تتضمن صحته التجارب ، ثم كشىء عملى أو تطبيقى . وتتضمن الميكانيكا التطبيقية كل الحرف اليدوية (الهندسية) ، التى اشتق منها اسم الميكانيكا . ولكن نظراً لأن الصناع لا يعملون الأشياء بدقة تامة ، فقد تباينت الميكانيكا واختلفت عن الهندسة لدرجة أن ما يكون دقيقاً تماماً (فى تصميمه وبنائه) يسمى هندسياً ، وما يقل عنه دقة يقال له ميكانيكا . وعلى أية حال فإن مصدر الأخطاء هنا ليس هو الفن ، ولكن هو الصانع . فمن لا يتوخى الإتقان يسمى (ميكانيكياً) غير دقيق ، وإذا استطاع أحد أن ينجز عمله بدقة تامة يعتبر أعظم (الميكانيكيين) إتقاناً وأكثرهم نجاحاً . . .

وإن اهتمامى لينصبّ على الفلسفة الطبيعية وليس على الصناعة أو الفن ، كما أننى أكتب عن قوى الطبيعة ، وليس عن القوى اليدوية ، وأساس دراستى تلك الأشياء التى تتصل بالجاذبية والدفع إلى أعلى (الذى ينجم عنه التعويم) ، وقوى المرونة ، ومقاومة المواد السيالة وما على شاكلتها من القوى سواء أكانت قوى جذب أم طرد ، مما يحملنى على اعتبار هذا العمل بمثابة الأسس الرياضية (للفلسفة) الطبيعية ، لأنه يلوح أن جميع العبء الواقع على كاهل الفلسفة إنما يتركز فى ذلك — من ظواهر الحركة ندرس قوى الطبيعة ، ومن هذه القوى نحدد الظواهر الأخرى . . . — .

ولكم كنت أتمنى أن نشتق أو نستنتج ظواهر الطبيعة . . . من مبادئ الميكانيكا ذلك لأننى بكل تأكيد ، ولأسباب متعددة ، أتوقع أنها جميعها تعتمد على قوى معينة من شأنها أن تؤثر فى الجزيئات التى تبنى منها الأجسام ، ولعلة لا نعرفها بعد ، تجعلها إما أن تتجاذب وتتجمع بعضها مع بعض ، أو أن تتنافر مبتعدة عن بعضها بعضا . ولما كانت هذه القوى غير معروفة ، فقد ذهبت بحوث الفلاسفة فى مجال الطبيعة سدى وظلت دون جدوى حتى يومنا هذا ، وكلى أمل فى أن الأسس التى أسوقها هنا سوف تلقى بعض الضوء على ذلك ، أو تلهمنا الطريق إلى وسيلة أقرب إلى الحقيقة فى الفلسفة الطبيعية » .

ولقد وضع نيوتن بهذه الكلمات برامج (التفسير الآلى) لشتى ظواهر الطبيعة ،

وهى وجهة نظر غلبت على دراسة الفيزياء حتّى ابتداء القرن العشرين ، ولم يعدل عنها إلا تحت ضغط النظرية النسبية ونظرية الكم . وما إن حدد هدفه على هذا النحو حتّى راح يعالج الظواهر الميكانيكية بالطرق الرياضية ويصوغها فى عبارات بلغت من الوضوح والدقة درجة سمحت باستعمالها فى أى كتاب من كتب الميكانيكا المدرسية (الكلاسيكية) الحديثة دون أن يدخل عليها أى تغيير أو تحوير . وفيما يلى مثلا الفقرات الأولى من كتابه « أسس نيوتن » مع بعض التعليقات البسيطة (بين قوسين) ، وذلك لكى نتبين المعانى الحديثة لما كان يستخدم فى القرن السابع عشر من مصطلحات فنية .

تعاريف

تعريف رقم (١) : كمية المادة (الكتلة) هى ما تقاس به ، نتيجة كثافتها وجرمها (حجمها) معاً .

وعلى ذلك إذا ضوعفت كثافة الهواء الذى يشغل حيزاً (حجماً) معيناً مرتين ، كما ضوعف الحيز (الحجم) مرتين ، فإن كمية هذا الهواء تتضاعف أربع مرات ، وعندما يصير الحيز (الحجم) ثلاثة أمثال قيمتهالأصلية تصبح كمية الهواء ستة أمثال قيمتها . ويفهم نفس الشىء عن الثلج والغبار الدقيق أو المساحيق التى تتكاثف نتيجة لحالة التضاغط أو السيولة ، وكذلك جميع الأجسام التى يختلف تكاثفها تبعاً لعوامل متباينة مهما كانت هذه العوامل . . . (نقول فى لغتنا الحديثة إن كتلة أى جسم هى حاصل ضرب كثافته فى حجمه) .

تعريف رقم (٢) : كمية الحركة هى ما تقاس به ، نتيجة السرعة وكمية المادة معاً . (التعبير الحديث لهذا التعريف هو أن كمية الحركة ، التى نطلق عليها عادة اسم « قوة الدفع الميكانيكى » ، أو حتى مجرد « قوة الدفع » ، لأى جسم هى حاصل ضرب سرعته فى كتلته) .

فحركة المجموعة هى مجموعة حركة الأجزاء ، ولذلك عندما تضاعف مقدار جسم ما (أى تضاعف كتلته) مع تساوى السرعة فى الحالتين تتضاعف الحركة (أى قوة الدفع الميكانيكى) ، أما إذا تضاعفت السرعة كذلك فإن كمية الحركة تصبح أربعة أمثال قيمتها الأصلية .

تعريف رقم (٣) : إن الخمول أو قوة المادة على الاحتفاظ بحالتها ، هى القوة التى يستطيع بها أى جسم ، على قدر ما أودع فيه منها ، المثابرة على حالته الراهنة، سواء أكانت هذه الحالة هى السكون أم التقدم بحركة منتظمة فى خط (مستقيم) معتدل .

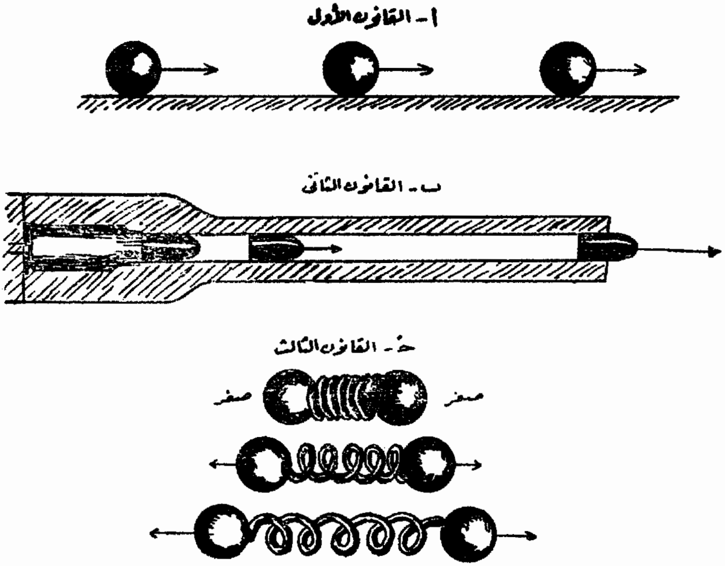
وتتناسب هذه القوة دائماً مع (كتلة) الجسم الذى يتضمنها ، وهى لا تختلف فى شىء عندما تكون الكتلة فى حالة خمود إلا فى طريقة تصورنا لها . فبسبب ما جبلت عليه المادة من طبيعة الخمول لا يسهل تغير الحالة التى عليها الجسم ، سواء أكانت هذه الحالة هى السكون أم الحركة . وبذلك يكون الخمول بالمعنى المشهور هو « القصور » أو قوة عدم النشاط . . . .

تعريف رقم (٤) : القوة المؤثرة هى فعل يقع على الجسم ليغير من حالته ، سواء أكانت هذه الحالة هى السكون أم الحركة المنتظمة فى خط معتدل (مستقيم) .
وتقتصر هذه القوة على مجرد الفعل فحسب ؛ إذ ينتهى تضمن الجسم لها بمجرد انتهاء ذلك الفعل ، فأى جسم إنما يحتفظ بكل حالة (يعنى حركة) جديدة يكتسبها وذلك نتيجة قصوره الذاتى فقط . ولكن القوى المؤثرة تختلف فى مصدرها عن ذلك ، فمنها ما ينشأ عن صدمة ، ومنها ما ينجم عن ضغط ، كما أن منها القوة الطاردة المركزية .
وبعد أن فرغ نيوتن من تعريف فكرة الكتلة ، والدفع ، والقصور الذاتى ، والقوة ، انتقل إلى صياغة القانون الأساسى للحركة .

القانون الأول : كل جسم فى حالة السكون يبقى ساكناً ، وكل جسم فى حالة الحركة بسرعة منتظمة وفى خط معتدل (مستقيم) يبقى كذلك ، ما لم يرغم على تغيير حالته هذه بفعل قوى تؤثر عليه — شكل (٣ — ١ ١) — .

وتستمر القذائف فى حركتها ما دامت لا تعوقها مقاومة الهواء ، ولا تسوقها إلى أسفل قوى الجاذبية . والنحلة عندما تستمر أجزاؤها ، بسبب تماسكها ، تنساب على جانب من جوانب الحركة فى خط مستقيم لا تبطل دورانها إلا تحت تأثير عامل الإبطاء بالهواء . أما أجسام الكواكب والمذنبات التى هى أكبر حجماً والتى تصادفها مقاومة أصغر فى الفضاء الحر الطليق ، فإنها تحتفظ بحركات سبحها ودورانها خلال أزمنة أطول بكثير .

القانون الثانى : يتناسب التغير فى الحركة أى فى (الدفع الميكانيكى) مع القوة المحركة المؤثرة ، ويتم فى اتجاه الخط المستقيم الذى تؤثر فيه تلك القوة — شكل (٣ — ٢ ب) — .



شكل (٣ — ١)

قوانين نيوتن الثلاثة : (ا) تسير الكرة الموضوعة على مستوى أفقى والتى لا تؤثر فيها أية قوة فى اتجاه تحركها ، على خط مستقيم بسرعة منتظمة . (ب) عند ما تدفع القذيفة داخل ماسورة البندقية بفعل غازات مسحوق البارود فإن سرعتها تتزايد باستمرار . (حـ) زنبرك مضغوط بين كرتين يؤثر عليهما بقوتى دفع متساويتين . وإذا ما افترضنا فى الشكل أن كتلتيهما متساويتان فإنهما تتحركان فى اتجاهين متضادين بسرعتين متساويتين .

فإذا ما نجمت حركة عن قوة ما ، فإن ضعف هذه القوة مرتين ينجم عنه ضعف تلك الحركة ، كما أن ضعف القوة ثلاث مرات يعطى ضعف الحركة ثلاث مرات كذلك ، سواء وقع تأثير القوة كلها فجأة أو على التدريج أو حتى على التتابع . وإذا ما كان الجسم يتحرك من قبل ، فإن تلك الحركة الناجمة عن القوة (نظراً لأنها تأخذ دائماً نفس اتجاه القوة التى تولدها) ، تضاف أو تطرح من الحركة الأولى ، وذلك على الترتيب إذا كانتا فى اتجاه واحد أو فى اتجاهين متضادين . وتحدث الإضافة بميل عندما ينحرف اتجاه إحداهما بالنسبة إلى اتجاه الأخرى بحيث تنتج

حركة جديدة تركب من تحديد الحركتين .

ويمكننا أن نصوغ قانون نيوتن الثانى بطريقة أخرى تختلف بعض الشيء عن الطريقة الأولى . فبما أن كمية الحركة هى حاصل ضرب كتلة الجسم المتحرك فى سرعته ، فإن معدل التغير فى الحركة هو حاصل ضرب الكتلة فى معدل التغير فى السرعة ، أى العجلة . وعلى ذلك نستنتج أنه تتناسب عجلة أى جسم تؤثر فيه قوة معينة تناسباً طردياً مع تلك القوة ، وعكسياً مع كتلة الجسم ، وعلى أساس هذا القانون نستطيع أن نقترح وحدة للقوة ، ونعرفها بأنها القوة التى عندما تؤثر فى جسم كتلته « جرام » واحد تكسبه عجلة قدرها سنتيمتر واحد فى الثانية لكل ثانية . وتسمى وحدة القوة هذه باسم (داين dyne) ، وقيمتها صغيرة ؛ إذ تبلغ نحو قدر القوة التى تسحب بها النملة حملها . وتستعمل فى الهندسة عادة وحدة تعادل $١٠^{٥}$ داين يقال لها نيوتن .

وعندما تعمل قوة معلومة على إزاحة جسم ما خلال مسافة معلومة ، فإن حاصل ضرب هذه القوة فى المسافة يعرف باسم (الشغل) المبذول . وعندما نعبر عن القوة بالداين ونقيس المسافة بالسنتيمتر ، يصير الشغل مقيسا بوحدة يقال لها (الإرج ergs) . وتستعمل للأغراض الهندسية وحدة أخرى من وحدات الشغل أكبر من هذه الوحدة بكثير هى (الجول joule) . ويساوى الجول الواحد $١٠^{٧}$ إرج . ونحن نستطيع كذلك أن نقترح وحدة للقوة عن طريق ما تدلنا عليه من الشغل المبذول فى وحدة الزمن ، وتقاس هذه الوحدة عادة بالإرج فى الثانية ، وليس لها اسم معين . وتستخدم فى الهندسة وحدة يقال لها (الوات) ، وهى تعادل (جول واحد) فى الثانية أو $١٠^{٧}$ إرج فى الثانية ، وكذلك تستعمل وحدة أخرى هى (قوة الحصان) وهى ٧٥١ وات ، أو ٠,٧٥١ كيلووات .

القانون الثالث : لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه ، أو بعبارة أخرى ، يتساوى دائماً ويتضاد فى الاتجاه الفعلان المتبادلان بين جسمين عندما يؤثر أحدهما فى الآخر — شكل (٣ — ا ج) — .

فعندما يسحب جسم جسما آخر أو يضغط عليه نجده يعانى (من هذا الجسم الأخير) قدراً مماثلا من الشد أو الضغط . فمثلا عندما تضغط بإصبعك على قطعة من حجر تجد أن إصبعك تعانى كذلك ضغطاً من هذا الحجر ، وعندما يسحب حصان ما حجراً مربوطاً فى حبل فإنه (إذا صح تعبيرى) يقع تحت تأثير

شد مماثل تجاه الحجر ، وذلك لأن الحبل المشدود يتراخى تارة ويستقيم أخرى بحيث يجعل الشد تجاه الحصان هو عينه الشد تجاه الحجر ، وبذلك يحول دون تزايد أحدهما دون الآخر .

وقد يتساءل المرء قائلاً : لماذا إذاً يجر الحصان الحجر ولا يجر الحجر الحصان ؟ والإجابة على هذا السؤال هي بطبيعة الحال أن هذا الفرق إنما يجيء عن طريق الاحتكاك مع سطح الأرض ، لأن (حدوات) الفرس تتشبث بالأرض بقوة تفوق قوة تشبث الحجر الذى يجره ، وإلا بقى الحجر فى مكانه ولم يبرحه ، بينما تنزلق، سنابك (حوافر) الفرس . وعندما نعمد إلى وضع متدحرجات تحت الحجر يقل الاحتكاك مع سطح الأرض ، وبذلك تسهل مهمة الفرس إلى حد كبير . وعندما ينعدم الاحتكاك ، وهى حقيقة تتوافر إلى حد كبير على السطح الجليدى لبركة تجمد ماؤها مثلا ، نجد أن حركة أى جسمين يجذب أحدهما الآخر أو يدفعه، لا تتساوى كذلك ما لم تكن كتلتاهما متساويتين تماماً ، وذلك نظراً لأنه عند ثبوت القوة تتناسب العجلة* عكسياً مع الكتلة. فإذا ما وقف رجل نحيف أمام آخر بدين وجهاً لوجه على سطح البركة الجليدى ، ثم دفع كل منهما الآخر ، فإننا نجد الرجل النحيف ينزلق إلى الخلف بسرعة أكبر بكثير من سرعة ارتداد الرجل البدين . وكذلك تكون سرعة تراجع (البندقية) أصغر بكثير من السرعة التى تنطلق بها القذيفة (أقل بكثير فى الوزن من البندقية) .

ونستخدم مبدأ التراجع فى بناء شتى أنواع الصواريخ . وعندما تنبثق الغازات الناتجة عن احتراق جميع الوقود مندفعة من (البزبوز) إلى الخلف بسرعة فائقة ينجم عن ذلك أن يندفع جسم الصاروخ إلى الأمام . وتتوقف السرعة النهائية التى يحصل عليها الصاروخ عندما ينفد وقوده على النسبة الوزنية بين الصاروخ والوقود . ولكى نحصل على سرعة كبيرة يلزم أن تكون هذه النسبة أصغر ما يمكن . وفى الصواريخ الحديثة نجد أن النسبة بين وزن الصاروخ الفارغ ووزن الوقود تكاد تعادل النسبة بين كتلة قشرة بيضة فارغة وكتلة البيضة بما فيها .

ولا يتسع المجال هنا لاستعراض موضوع الصاروخ الحديث من الوجهة الهندسية ،

* العجلة هى التى تسيطر على طبيعة الحركة (المترجم) .

ولهذا نقتصر على ذكر حادثة جرت فى منطقة اختبار الصواريخ الكبرى فى كيب كانا فيرال بفلوريدا . فقد رغب أحد المدرسين فى أن يبدأ الدرس الأول لطلبة الصف الأول بمدرسة محلية ابتدائية بالوقوف على ما يعرفه الصبية والبنات عن (الراءات الثلاث Three R's) * . وتطوع جزئى الصغير قائلا : « إنى أستطيع أن أعدها لك » . ورد المدرس : « هلم عد » ، وراح الصبى يقول : « عشرة، تسعة ، ثمانية ، سبعة ، ستة ، خمسة ، أربعة ، ثلاثة ، اثنين ، واحد، . . . . بندقات ** .

ولعله من الأوفق لكى نعاود الحديث عن نيوتن ، دون أن نترك فجأة مسألة أسفار الفضاء ، بل جدير بنا أن نشير إلى أنه كان أول من طرأت له فكرة الأقمار التابعة للأرض . فنحن نقرأ فى الجزء الثالث من « البرنسبيا » قوله :

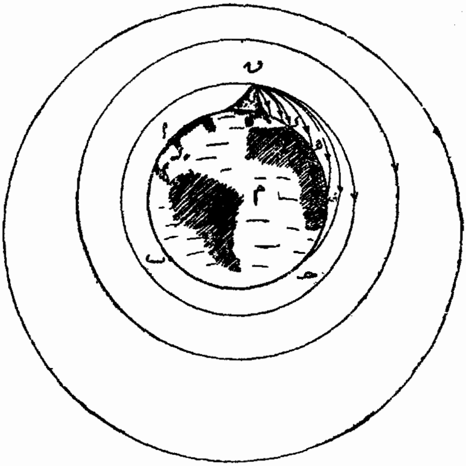
« ويصبح من اليسير علينا أن ندرك أن الكواكب تظل محتفظة بأفلاكها تحت تأثير القوة الطاردة المركزية عندما ندرس حركات القذائف ، فالحجر عندما يقذف يرغم تحت تأثير ضغط وزنه على الخروج من نطاق الحركة فى مسار مستقيم ، ذلك المسار الذى كان يحتفظ به لو أنه ظل تحت تأثير الدفعة الأولى وحدها . ويرسم الحجر خطاً منحنياً فى الهواء ليعود إلى الأرض خلال هذا الطريق الملتوى . وكلما زادت سرعة قذفه كبرت المسافة التى يقطعها قبل أن يسقط على الأرض . وعلى ذلك يمكننا أن نفترض أن السرعة تتزايد تدريجياً بحيث يقطع الحجر قوساً طولها ١ ، ٢ ، ٣، ١٠، ١٠٠، ١٠٠٠ ميل قبل أن يصل إلى سطح الأرض ، حتى يصل فى النهاية إلى الحد الذى يزيد فيه على أبعاد الأرض،وعندها يمرق إلى الفضاء دون أن يمس سطحها . لنفرض أن ا ف ب — شكل (٣— ٢) يمثل سطح الأرض ، وأن م هى المركز ، كما أن ق د ، ق هـ، ق ف هى على الترتيب المنحنيات التى يرسمها الجسم عندما يطلق فى اتجاه أفقى من على قمة جبل مرتفع ق (فى مكان ما فوق مرتفعات سكتلندة دون شك) بسرعة تتزايد على التدريج . وكما أن الحركات *** السماوية قلما تعوقها المقاومة الضئيلة أو المعدومة للفضاء الخارجى الذى توجد فيه

* هذا التعبير معناه القراءة والكتابة والحساب (المترجم) .

** لاحظ أنه فى حالة إطلاق الصواريخ تعين لحظة الإطلاق بالعد إلى الخلف على المذياع ، فدرج الأطفال على ذلك (المترجم)

*** يعنى حركات أجرام السماء مثل الكواكب والشموس والتوابع (المترجم) .

أجرام السماء . لنفترض جدلا : إما أنه لا يوجد هواء حول الأرض، أو أن للهواء العادى الذى من حول الأرض قوة مقاومة صغيرة جداً أو معدومة ، ولهذا السبب نجد أنه عندما يقذف جسم بسرعة القذائف العادية فإنه يرسم قوساً صغيرة مثل ق د ، وعندما تزداد سرعة القذف تتسع القوس إلى ق هـ ثم إلى ق ف ، ثم إلى ق جـ . . . وهكذا تنفرج القوس كلما زادت السرعة حتى يربى طولها على محيط الأرض ، وتعود لتمر بنقطة القذف على الجبل من جديد . . .



شكل (٣ — ٢)

مسار القمر الصناعى من حول الأرض كحالة نهائية لمسارات القذائف التى تتساقط إلى سطح الأرض على أبعاد متزايدة من الجبل الذى تطلق منه (اقتباس عن الشكل الأصلى فى « برنسبيا » نيوتن) .

ولكننا عندما نتصور أن الأجسام تقذف فى اتجاهات توازى الاتجاه الأفقى من على ارتفاعات أكبر ، مثل ٥ ، ١٠ ، ١٠٠ ، ١٠٠٠ أو أكثر من الأميال ، أو من علو يعادل عدة أضعاف قطر الأرض ، فإن هذه الأجسام سوف ترسم مسارات ، منها ما قد يكون متحد المركز مع الأرض ، ومنها ما قد يصبح لا مركزياً بدرجات متفاوتة ، فينطلق إلى السماء ليسبح فى مدارات تحكى مدارات الكواكب السيارة سواء بسواء ، كل ذلك تبعاً لاختلافات السرعة الأصلية التى يقذف بها الجسم ، وكذلك تبعاً لتغير قيمة قوى الجاذبية بتغير الارتفاع الذى يطلق منه الجسم .

وتتضمن هذه الفقرة فكرة أنه لا توجد سوى قوة واحدة هى جاذبية الأرض (أو قبضتها) تتحكم فى كل من تساقط الحجر وحركة الأجرام السماوية ، وهى تلك الفكرة التى ادعاها نيوتن أول ما ادعى عندما راقب تفاحة تسقط من شجرتها . وسواء كانت « نظرية التفاحة » هذه حقيقة أو خيالا فقد أدت إلى كتابة القصيدة الآتية الطريفة :

وبينما كان السير إسحق يسير غارقاً فى أفكاره
إذ اعترض سبيله فلاح يقيم بجـواره
وكان الرجل قد أضنته قوانين الجاذبيـة
فاستطاع الجار أن يغريه ليقفا معـاً
للتحـدث برهـة فى النسيم العليـل
بينما راحت أزهار التفاح ذات اللون الجميل
فى بستان صديق نيوتن على مدى النظر
تتساقط على الطريق من أطراف الشجر
وقال الجار لنيوتن : هل لى أن أسألك الانتظار
فإن لى كلمـة معك هـذا النهـار
لقد وصل مسامع الناس فى البلدة خبر خطير
فحواه أنك أحرزت نجاحاً منقطع النظير
من مراقبـة التفاح المتساقط على الأديم
فبالله حدثنى أكثر ياسيدى ـ حدثنى حديث العليم
وقال نيوتن : نعم بالطبـع والتـأكيـد
ألا ترى معى أن نفس تلك القوة على التحديد
التى تتناسب مع مربع راء
أو المسـافة عـبر هـذا الفضـاء
هى التى تبقى على القمر الجميل فى العـلا
وتسقط التفـاح إن عاجـلا أو آجلا ؟ »

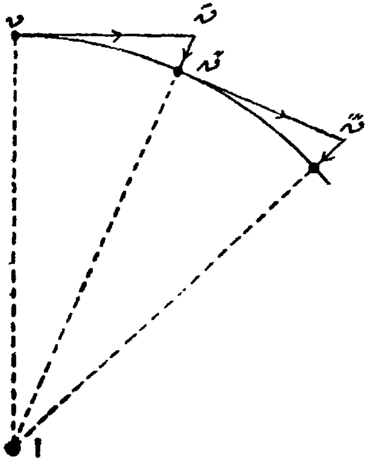
وقال الجار : دع عنك هذا سيدى ولا تحد
فليس هــذا مـا أروم وما أريـد
إنمـا الذى يشـير اهتمامى . . . . .
من شجر التفـاح المـزهـر أمـامى
وجميع تفاحـه واحـدة واحـدة
وذلك الذى طاب فى الشمس الهادئـة
على طـول هـذه الطريق الطويلـة
هـو كم تـدفـع ثمنـاً للحمـولـة

وضعه فى قالب الشعر بالإنجليزية ب . ب . ج . ، عن شعر روسى غير منشور – لمؤلف غير معروف .

ولكى يثبت العلاقة بين قوى الجاذبية والمسافة أو البعد من مركز الأرض ، قرر نيوتن أن يقارن بين تساقط الحجارة (أو التفاح) على سطح الأرض وحركة القمر ، الذى يمكن أن يعتبر فى حالة تساقط مستمر* لا نهاية له كما هو واضح من الشرح السابق . وبهذه الطريقة استطاع نيوتن أن يقارن بين القوة (الفلكية) التى تؤثر على القمر ، والقوة (الأرضية) التى تؤثر على الأجسام التى نستخدمها كل يوم فى حياتنا العادية .

ويمثل شكل (٣ – ٣) الطريقة التى استخدمها مع شىء من التحوير ، حيث يظهر القمر ق وهو يدور من حول الأرض ا فى مدار دائرى تقريباً . وإذا اعتبرنا ق بمثابة أى نقطة على المسار وجدنا أنه فى الوضع ق تكون للقمر سرعة خاصة فى اتجاه عمودى على نصف قطر الدائرة (الفلك) ، فإذا لم تكن هنالك قوى تؤثر على القمر فإنه بطبيعة الحال ينطلق مندفعاً فى خط مستقيم بحيث يصبح بعد مضى وحدة الزمن فى الوضع الجديد . قَ . ولكن بما أنه فى الواقع يصل إلى قً بدلا من قَ فإنه يجب اعتبار المسافة قَ قً بمثابة ما يقطعه القمر فى وحدة الزمن خلال تساقطه الحر تجاه الأرض . وتبعاً لنظرية فيثاغورث نجد أن :

* لاحظ أنه رغم التساقط المستمر للقمر نحو الأرض ، أو رغم أنه يهوى إليها فى كل لحظة تحت قبضة جاذبيتها ، إلا أنه يطرد فى نفس الوقت بعيداً عنها بقوة معادلة هى القوة الطاردة المركزية (المترجم) .



شكل (٣ — ٣)

عند ما اعتبر نيوتن حركة القمر الدائرية من حول الأرض بمثابة التساقط — راجع شكل (٣ — ٢) — ، استطاع أن يحسب العجلة التي تنشأ عن قوة الجذب المؤثرة على القمر . ويوضح الشكل المرسوم أعلاه كيف يعمل هذا الحساب .

$$\text{وَ وً} = \sqrt{(\text{اق})^2 + (\text{ق وَ})^2} - \text{اق} \text{ ،}$$

(وذلك نظراً لأن ا وً = ا ق) . ويمكن البرهنة جبرياً على أنها تساوى على وجه التقريب :

$$\frac{(\text{ق وَ})^2}{\text{٢ ا ق}} \quad \text{أو} \quad \frac{1}{2}\left(\frac{\text{ق قَ}}{\text{ا ق}}\right)^2 \times \text{ا ق}$$

(نظراً لأن ق وَ أصغر بكثير من ا ق) ، ولكن السرعة الزاوية للقمر خلال سيره من حول الأرض هى $\frac{\text{ق قَ}}{\text{ا ق}}$ على وجه التقريب ، أى أن هذه القيمة هى التغير فى مقدار الزاوية التى يصنعها القمر فى مداره خلال ثانية واحدة من الزمن . ولما كان القمر يرسم دائرة كاملة فى الشهر ، فإن السرعة الزاوية هذه تساوى ٢ ط مقسومة على طول الشهر بالثوانى ، أى تساوى ٦٦ / ٢ × ١٠$^{-٦}$

ولكننا عندما ناقشنا حركة التسارع بعجلة رأينا أن المسافة المقطوعة فى الثانية

الأولى تساوى نصف الكمية التى نطلق عليها اسم « العجلة » ، وعلى ذلك نستنتج أن العجلة الناجمة عن القوة التى تمسك القمر وتحتفظ به فى مداره الدائرى هى :

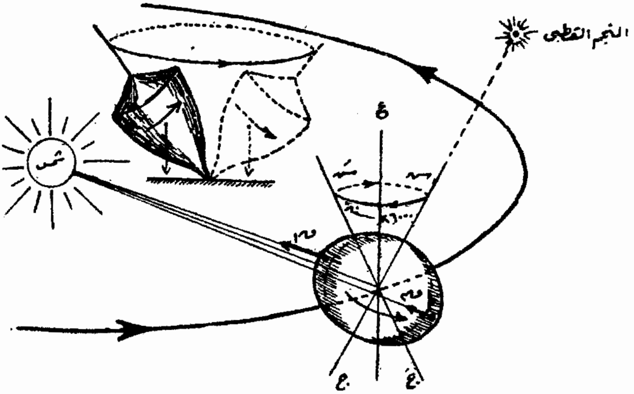
$$\frac{(\text{قَ ق})^{٢}}{\text{ا ق}} \times \text{ا ق} ،$$

وعندما استخدم نيوتن القيمة السابقة للسرعة الزاوية واعتبر بعد القمر عن الأرض يساوى ٣٨٤٤٠٠ كيلومتر أو ٣,٨٤٤ × ١٠^١٠ سنتيمترًا ، وجد أن قيمة عجلة الجاذبية الأرضية على مسافة تساوى بعد القمر هى ٠,٢٧ سم / ثانية / ثانية ، وهى قيمة صغيرة جداً بالنسبة لما تساويه الجاذبية الأرضية عند سطح الأرض (= ٩٨١ سم/ثانية/ثانية) . وعلى أية حال فهناك علاقة بسيطة تربط بين هاتين القيمتين من ناحية وبعد القمر ،ثم بعد التفاحة المتساقطة عن مركز الأرض من ناحية أخرى . فالنسبة بين ٩٨١ ثم ٠,٢٧ هى ٣٦٤٠ ، وهى تساوى تماماً مربع العدد الذى يمثل النسبة بين نصف قطر مدار القمر حول الأرض ونصف قطر الأرض ذاتها . وبهذه الطريقة توصل نيوتن إلى النتيجة القائلة بأن قوة جذب الأرض أو قبضتها تتناقص متناسبة تناسباً عكسياً مع مربع البعد عن المركز .

وعندما عمم هذه النتيجة على جميع الأجسام التى فى الكون صاغ قانون الجاذبية العالمية الذى يقول : « تتجاذب كل الأجسام المادية بقوة تتناسب تناسباً طردياً مع كتلها ، وعكسياً مع مربع المسافة بينها » . وعندما استخدم هذا القانون فى حالة حركة الكواكب من حول الشمس استطاع أن يستنتج بالرياضة قوانين كبلر الثلاثة التى أوردناها فى الباب السابق .

ولقد نجم عن تطوير أعمال نيوتن على يد كبار علماء الرياضة فى القرنين الثامن عشر والتاسع عشر مولد فرع عظيم من فروع الفلك هو « الميكانيكا السماوية» التى تتيح فرصة حساب حركة الكواكب داخل المجموعة الشمسية تحت تأثير الجاذبية المشتركة ، وذلك بدقة متناهية . وأكبر انتصار لنا أحرزناه فى مجال (الميكانيكا السماوية) تم عام ١٨٤٦ ، عندما اكتشف كوكب جديد هو « نبتون » . وكان وجود هذا الكوكب ومداره قد تكهن بهما من قبل الفلكى الفرنسى

ى . ج . ج . لفربى ، وكذلك الفلكى البريطانى ج . أدامز ، على أساس الاضطرابات التى يحدثها الكوكب المجهول فى ذلك الوقت على حركة أورانوس . وحدث كشف مماثل عام ١٩٣٠ * عندما رصد كوكب وراء أو بعد نبتون ، سمى فيما بعد باسم بلوتو ، وكان ذلك نتيجة للحسابات النظرية السابقة .



شكل (٣ - ٤)

تفسير نيوتن لترنح محور دوران الأرض : نظراً لأن قوى الجاذبية تتناقص بازدياد المسافة ، فإن القوة ق ١ التى تؤثر على الانبعاج الاستوائى للأرض عند ما يواجه الشمس تكون أكبر من القوة ق٢ التى تؤثر على الانبعاج الذى فى الاتجاه المضاد . وينتج عن التأثير المشترك للقوتين أن تؤثر « قوة تعامدية » على محور دوران الأرض ، من شأنها أن تعمل على جعل هذا المحور عموديا على مستوى مدار الأرض . وتماثل هذه الحالة عموما ما يحدث « للنحلة » عند ما تلف حول محور مائل ، وتعمل جاذبية الأرض ، ممثلة فى وزن النحلة ، على جعل محور دورانها أفقياً . وكما أن النحلة لا تقع على جانبها ما دامت مستمرة فى اللف والدوران ، وتبقى منتصبة بينما يرسم محورها سطحاً مخروطياً حول الاتجاه الرأسى ، فكذلك محور الأرض لا يصير عمودياً على مستوى فلكها ، وإنما يرسم سطحاً مخروطياً حول ذلك الاتجاه سواء بسواء .

وعندما استخدم نيوتن قانونه الذى صاغه خاصاً بالجاذبية على حركة الكرة الأرضية ، استطاع أن يعطى أول تفسير لظاهرة « ترنح الاعتدالين » التى عرفها البشر منذ عهد بلوتارخ . فقد برهن على أنه لما كان محور دوران الأرض يميل على مستوى فلكها (الدائرة الكسوفية) ، فإنه يلزم أن تسبب قوى جاذبية الشمس التى تؤثر فى الانبعاجات الاستوائية للكرة الأرضية حركة الدوران البطيئة التى يعملها

* أسهم مرصد حلوان فى الكشف عن هذا الكوكب فى ذلك الحين (المترجم) .

محور الأرض حول الخط العمودى على (الدائرة الكسوفية) ، والتى تبلغ فترتها نحو ٢٦٠٠٠ سنة — شكل (٣ — ٤) — ولقد قوبل هذا التفسير بمعارضة قوية من معاصريه من الفلكيين ، إذ على أساس قياسات خاطئة كان الرأى السائد فى ذلك الوقت أن شكل الأرض ليس كالشمام ، تبعاً لازدياد عرضها عند خط الاستواء ، ولكن كالبطيخة التى يزيد فيها البعد بين القطبين على القطر الاستوائى .

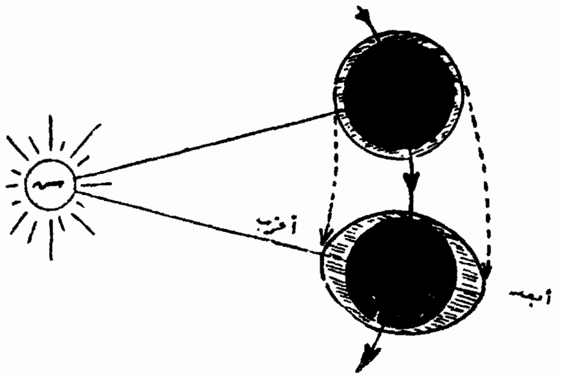
ولقد عمد العالم الرياضى الفرنسى ب . ل . م . دى موبيرتويس ، من أجل أن يضع حداً لهذا الجدل ، إلى عمل رحلة إلى لابلاند ليقيس طول الدرجة الواحدة على خط الزوال فى خطوط العرض الشمالية ، فتعرض لكثير من المغامرات ، وخاصة مع جماعة من الذئاب . ولما برهنت قياساته على صحة وجهات نظر نيوتن ، كتب إليه فولتير يقول مداعباً :

لقد أيدت فى الأرض الزاخرة بأمواج البحار
ما عرفه نيوتن دون مغـــادرة الديار !

ولقد فسر نيوتن على نفس المنوال ظاهرة المد والجزر فى المحيطات ، فعزاها إلى عدم التساوى فى قيم قوى الجاذبية التى تؤثر بها الشمس على نصف الكرة الأرضية الذى يواجهها ونصف الكرة الذى فى الناحية الأخرى ، على النحو الممثل فى شكل (٣ — ٥) .

وتعج السمائة والست والعشرون صحيفة من « برنسبيا » نيوتن بمعلومات عن شتى فروع ديناميكا الجوامد والموائع ، إلا أننا سنكتفى هنا بعرض مسألة أخرى زيادة على ما ذكرنا نظراً لسهولتها ولطافتها ، وهى تتصل بحركة القذائف عندما ترمى أو تطلق بسرعة ابتدائية معلومة خلال وسط له مقاومة مثل الهواء أو الماء . فما هو المدى الذى تتحرك خلاله قبل أن تصل إلى حالة السكون ؟

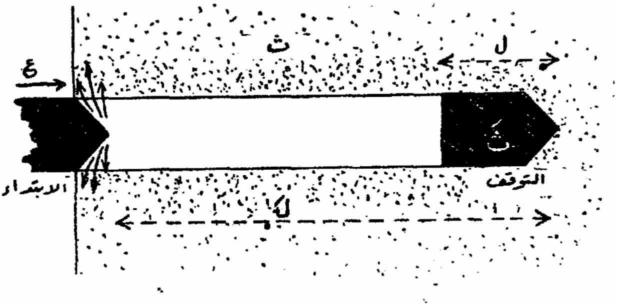
ويوضح شكل (٣ — ٦) ويبين بالرسم حالة قذيفة عندما تتحرك — إثر إطلاقها من غدارة — خلال الهواء أو الماء حسبما اتفق . فالذى يحدث هو أن تعمل القذيفة على إزاحة الوسط على جوانبها خلال تحركها فيه . وعندما تكون السرعة كبيرة تصبح قوى الاحتكاك عديمة القيمة نسبياً ، ويقتصر النقص الأساسى الذى



شكل (٣ – ٥)

تفسير نيوتن لظاهرة المد والجزر : بما أن قوى الجاذبية تتناقص بازدياد البعد عن الشمس ، فإن القوة التى تؤثر فى ماء المحيط الموجود فى الجانب الذى تكون فيه الدنيا نهاراً تربى قليلا على القوة التى تؤثر فى جسم الأرض الصلب . وكذلك تقل قوى الجاذبية التى تؤثر فى ماء المحيط الموجود فى الجانب المظلم أو هى تنقص قليلا عن تلك التى تؤثر فى الجسم الصلب . وينجم عن هذه الفروق أن يميل سطح الماء فى الجزء المنير إلى الارتفاع والعلو بدرجة أكبر فوق قاع المحيط ، وفى الجانب الذى يخيم فيه الليل يمكننا أن نقول إن القاع كأنما هو يجذب من تحت المحيط . وتسبب هاتان الظاهرتان تولدا نبعاجين من الماء، يظهران مع دوران الأرض حول محورها كموجتين من أمواج المد ، تنتشران حول الأرض فى زمن قدره ٢٤ ساعة .

يطرأ لطاقة القذيفة على ما يستنفد فى سبيل إكساب الوسط الذى تزيحه على جوانبها سرعة عظيمة .



شكل (٣ – ٦)

نظرية نيوتن الخاصة باختراق القذائف للوسط الذى تنساب فيه

وليس من الصعب أن نستنتج أن تلك السرعة التى تكتسبها أجزاء الوسط المتاخمة

تقارب سرعة القذيفة المتحركة . وعلى ذلك فإنها تقف عندما تصبح كتلة الوسط الذى دفعته للحركة على وجه التقريب مساوية كتلتها بالذات .

وهكذا نستنتج أن النسبة بين طول النفق الذى تحفره القذيفة فى الوسط وطول القذيفة ذاتها تساوى النسبة بين كثافة مادة القذيفة وكثافة مادة الوسط ، أى أن

$$\frac{\acute{ل}}{ل} = \frac{\acute{ث}}{ث} \text{ تقريباً}$$

وهى علاقة تعد صحيحة على وجه التقريب المتناهى بطبيعة الحال . ولكن رغم ذلك نستطيع أن نخرج منها بعدة نتائج هامة : فمثلا عندما نطلق قذيفة من الحديد الصلب (تعادل كثافتها كثافة الماء بما يزيد على عشر مرات) خلال الهواء (تقل كثافته نحو ألف مرة عن كثافة الماء) يكون من المنتظر أن تسكن القذيفة بعد أن تقطع مسافة تعادل نحو ١٠٠٠٠ مرة قدر طولها (وذلك إن لم تسقط إلى الأرض قبل ذلك) . وعلى هذا يكون من المتوقع أن تقطع قذائف المدفعية الكبيرة التى تستخدمها البحرية ، والتى يبلغ طول القذيفة منها خمس أقدام أو أكثر ، نحواً من خمسين ألف قدم ، أى أكثر من عشرة أميال . ونجد من ناحية أخرى أن الرصاصة التى يبلغ طولها نصف بوصة عندما تنطلق من مسدس صغير قلما يصل مدى مرماها إلى ٤٠٠ قدم . وعندما نطلق رصاصة داخل وسط من الماء ، الذى تقل كثافته عن كثافة المعدن بنحو عشر مرات فقط ، نجد أن القذيفة تفقد معظم طاقتها عندما تقطع نحو عشرة أمثال طولها فقط ، مما يفسر لنا كيف يلجأ الغواصون إلى استخدام سهام طويلة من المعدن من أجل اقتناص الفريسة تحت الماء . ومن الممتع حقاً أن نلاحظ أن طول المسافة التى يقطعها السهم لا يتوقف على السرعة الأصلية للقذيفة (بفرض أنها تبلغ من الكبر القدر الكافى) . وهذه هى الحقيقة التى حيرت الإخصائيين الحربيين فى الولايات المتحدة ، وقد كانوا يسقطون دانات المفرقعات من أعلى ارتفاعات مختلفة ، على فرض أنها ستغوص خلال مسافات عميقة قبل انفجارها ، إلا أنه لم يظهر أى تغيير على طول الحفرة التى كانت تنفذ خلالها تبعاً لتغير البعد الذى تسقط منه (ومن ثم تصطدم بالأرض وقد حصلت على قيم مختلفة

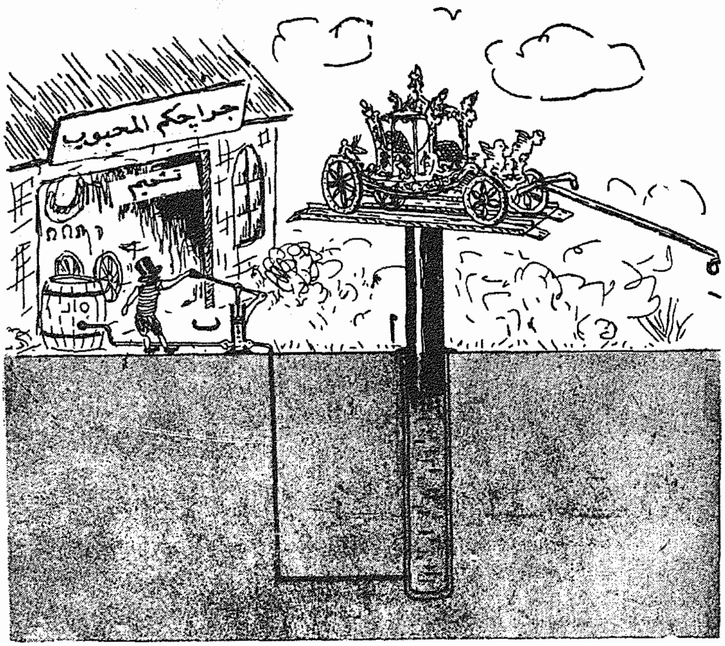
من السرعة) . وظل أولئك الخبراء (يحكون رؤوسهم) حتى لفت شخص نظرهم ونبههم إلى نظرية تعالج هذا الموضوع فى « برنسبيا » نيوتن .

ستاتيكا وديناميكا الأجسام السيالة *

تولى إتمام دراسات السير إسحق نيوتن على تعادل الأجسام السيالة (أو المائعة) وتعميمها العالم الرياضى الفرنسى بليز باسكال الذى كان قد بلغ التاسعة عشرة عندما ولد نيوتن ، وكذلك عالم الفيزياء السويسرى دانيال بيرنولى ، الذى كان قد بلغ السابعة والعشرين عندما مات نيوتن . ويقول قانون باسكال ، الذى هو وقانون أرشميدس يكونان أساس علم توازن السوائل أو (الهيدروستاتيكا) ، إن السيال (سواء أكان سائلا أم غازاً) عندما يحتبس داخل وعاء ما يضغط على وحدة المساحات فى جميع جوانب الوعاء بقوى متساوية . ولقد اتسع مجال تطبيق قاعدة باسكال هذه فى بناء آلات مائية مختلفة . وفى الحقيقة إذا كانت لدينا أسطوانتان ا ، ب — شكل (٣ — ٧) — مختلفتا القطر ، ومتصلتان بأنبوبة رفيعة ، كما أن فيهما مكبسين متحركين ، تكون القوة الكلية التى تؤثر فى المكبس الذى بالأسطوانة الأكثر اتساعاً أكبر من تلك التى تؤثر فى مكبس الأسطوانة الضيقة ، وذلك بحسب نسبة مساحتيهما . وعلى هذا الأساس نجد أن أى قوة ضعيفة نسبيًّا تولدها اليد على المكبس الذى بالأسطوانة الضيقة ينجم عنها قوة أكبر بكثير تعمل على مكبس الأسطوانة الواسعة ، بحيث يمكنها رفع عربة ثقيلة . ومهما يكن من شىء فإنه تبعاً لذلك تكون إزاحة مكبس الأسطوانة الواسعة أصغر بكثير من إزاحة مكبس الأسطوانة الضيقة .

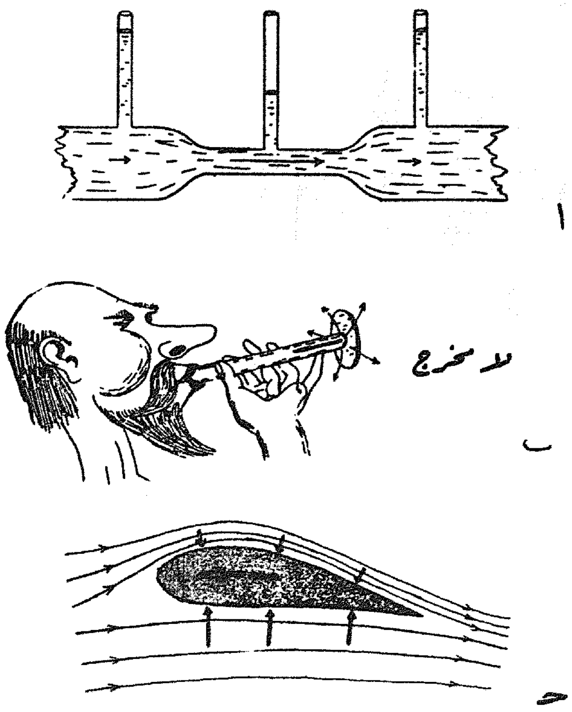
ويختص قانون برنولى (أو قاعدة برنولى كما تسمى غالباً) بحركة الأجسام السيالة فى الأنابيب المختلفة الأقطار ، وهى تبدو لأول وهلة غير متفقة ولا متمشية مع الفهم والإدراك . ونحن عندما نتخيل (ماسورة) واسعة أفقية تضيق خلال جزء منها وتتسع بعد ذلك — شكل (٣ — ١٨) — ويفيض منها الماء ، فإنه يمكننا قياس ضغط الماء فيها عبر مقاطع مختلفة ، وذلك بوساطة ارتفاع أعمدة المياه فى الأنابيب الرأسية

* تسمى أحياناً الموائع ، إلا أن هذه التسمية غير سليمة (المترجم) .



شكل (٣ – ٧)
تبعاً لقاعدة باسكال تستطيع قوة تولدها اليد رفع عربة ثقيلة

المتصلة بأجزاء هذه الماسورةالرئيسيةالأفقية. ويلوح لأول نظرة أن الضغط يكون مرتفعاً فى المقطع الضيق للأنبوبة ، نظراً لأن الماء يجبر على (التضاغط) خلاله . وعلى أية حال فإن التجربة المباشرة تدل على أن الوضع عكس ذلك تماماً ، وأن قيمة ضغط الماء عبر المقطع الضيق تكون أقل من قيمته فى المقطع الأعرض . ويمكن تفسير ذلك عندما نأخذ فى الاعتبار تغير سرعة تدفق المياه عبر مقاطع مختلفة للأنبوبة . ففى المقطع العريض يتحرك الماء ببطء نسبيًّا ، على حين هو يسرع عند دخوله المقطع الضيق . ولكن لكى تسرع المياه فى حركتها يلزم أن يتوافر لها قدر معين من (القوة) التى تعمل فى ذلك الاتجاه . ونحن لا نستطيع أن نفكر فى أى مصدر للقوة هنا سوى مصدر (فروق الضغط) بين الأنبوبتين الواسعة والضيقة . ولما كانت سرعة الماء تزداد عقب دخوله الأنبوبة الضيقة ، ومن الطبيعى أن تعمل القوة فى



شكل (٣ – ٨)

قاعدة بيرنولى : (ا) عرض بسيط . (ب) أنبوبة خادعة . (ح) كيف يعمل جناح الطائرة

اتجاه التيار ، فمن اللازم أن يكون الضغط فى الأنبوبة الواسعة أكبر من الضغط فى الأنبوبة الضيقة .

وفى وسع الفرد منا أن يظهر هذه الحقيقة من غير الحاجة إلى (سباك) ، وذلك بالحصول على أنبوبة صغيرة من الزجاج (ربما يمكن الاستعاضة عنها بمبسم السيجارة) وقرص من الورق المقوى ، ودبوس – شكل (٣ – ٨ ب) – . ثبت الدبوس فى مركز القرص ثم أدخله فى الأنبوبة على النحو الموضح فى الشكل ، بحيث يعمل وزن القرص على استقرار القرص على حافة أو طرف الأنبوبة . فعندما ينفخ المرء فى الطرف الثانى للأنبوبة يكون من المنتظر أن يطير القرص بسهولة ، وما عليك إلا أن تحاول هذه التجربة لتلمس بنفسك عدم صحة ذلك بتاتاً ، وأنه كلما عمد المرء إلى النفخ بشدة ازداد تشبث القرص بطرف الأنبوبة . وتفسر هذه الظاهرة على أساس

مبدأ بيرنولى : فإن الهواء الذى ينفخ فى الأنبوبة يكون مجبراً على التسرب أو الخروج خلال الطوق الدائرى الضيق الذى يفصل بين حافة الأنبوبة وقرص الورق المقوى الذى يضغط عليها ، وهذا الطوق أضيق بكثير من مجرى الأنبوبة ذاتها ، وعلى ذلك يكون ضغط الهواء فيه أقل بكثير من الضغط الجوى ، مما يحمل الهواء الخارجى على دفع القرص ليظل ملازماً لطرف الأنبوبة .

ويفسر لنا مبدأ بيرنولى كذلك القوى التى تحمل أجنحة الطائرة عندما تحلق فى الفضاء . فكما هو موضح فى شكل (٣ – ٨ جـ) يصمم الشكل الجانبى للجناح بحيث تصبح المسافة من طرفه الأمامى إلى نهاية مؤخرته عندما ينساب الهواء فوق قمة الجناح أطول من المسافة التى بين نفس النقطتين عندما ينساب الهواء تحت الجناح . وينجم عن ذلك بطبيعة الحال أن تصير الكتل الهوائية المتحركة أعلى الجناح ذات سرعة كبرى ، وبذلك تبعاً لقاعدة بيرنولى يكون ضغطها أقل من الكتل الهوائية التى تنساب أسفل الجناح . ويعمل فرق الضغط هذا على حمل الطائرة إلى أعلى .

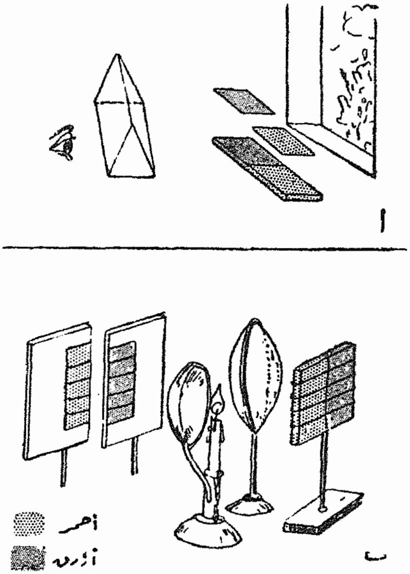
البصريات*

يجدر بنا عند هذه المرحلة أن نكف عن مناقشة أعمال نيوتن فى علم «الميكانيكا» لكى نفسح المجال لعرض « بصرياته » . وتقتصر أهم أعمال نيوتن فى هذا المجال على دراسة الألوان ، والبرهان الأساسى على أن الضوء الأبيض هو فى الواقع خليط من الأشعة المتباينة الألوان ابتداء من الأحمر إلى البنفسجى . وفى الواقع سبقت دراسات نيوتن فى علم البصريات أعماله الرئيسية فى الميكانيكا التى أوردها فى « البرنسيبيا » . فعندما بلغ الثالثة والعشرين اشترى منشوراً زجاجياً « ليحاول به دراسة ظاهرة الألوان » . ومن الجائز أن جميع اكتشافاته الرئيسية فى هذا المجال يرجع تاريخها إلى تلك الفترة من حياته . وعلى أية حال ، فقد حدث فى فبراير عام ١٦٩٢ أن ترك النور موقداً فى غرفته وقصد الكنيسة ، وصادف أن راحت النار تلتهم أوراقه ، وكان من بينها أوراق أعمال وفيرة عن البصريات ، تضمنت تجارب وبحوث عشرين

---

* قد يطلق عليها أيضاً اسم الضوء تجاوزاً على النحو المألوف (المترجم) .

عاماً . وهكذا لم تظهر الطبعة الأولى من كتاب البصريات لنيوتن إلا فى عام ١٧٠٤ . ونحن ليس أمامنا إلا الحيرة بين إرجاع هذا التأخير إلى ذاك الحريق ، أو إلى تباطؤ نيوتن فى نشر أفكاره على الملأ فى وجه خصمه العنيد روبرت هوك ، الذى مات قبل أن يرسل نيوتن كتاب « بصرياته » ، (وهو متضمن مقالات عن انعكاسات ، وانكسارات ، وانعطافات ، وألوان الضوء) ، للطبع . وفى مطلع ذلك الكتاب يبادر نيوتن إلى وصف تجربة بسيطة تثبت أن للضوء المكون من عدة ألوان عدة (انكسارات) متباينة .



شكل (٣ – ٩)

تجارب نيوتن على انكسار الضوء

ولكى يدلل على ذلك أخذ قطعة طويلة من الورق المقوى ، ودهن نصفها باللون الأحمر اللامع ، والنصف الآخر باللون الأزرق ، ثم وضعها بجانب النافذة وراح ينظر إليها من خلال منشور زجاجى – شكل (٣ – ١٩) – وعلى حد تعبير نيوتن نفسه : « وجدت أنه عندما تدار زاوية الانكسار للمنشور إلى أعلى بحيث يمكن رؤية الورقة مرتفعة فوق وضعها الأصلى بالانكسار ، فإن نصفها الأزرق يرتفع بقدر أكثر من نصفها الأحمر تحت تأثير هذا العامل . ولكن عندما تدار

زاوية الانكسار للمنشور إلى أسفل ، بحيث تبدو الورقة منخفضة عن وضعها الأصلى بالانكسار ، فإن نصفها الأزرق يزاح إلى أسفل خلال مسافة أكبر من تلك التى يزاح خلالها النصف الأحمر » . وعلى أساس هذه التجربة قرر أن الضوء الأزرق إنما ينكسر بدرجة أكبر من الضوء الأحمر ، واستنتج أنه عندما تستخدم عدسة من أجل تجميع كل من الضوئين الأحمر والأزرق فإنه لا مناص من تجميعها لهما على بعدين مختلفين منها . وعمد من أجل إثبات هذا الاستنتاج إلى استخدام قطعة من الورق دهن نصفها باللون الأزرق والنصف الآخر باللون الأحمر ، وأضاءها بشمعة « لأن التجربة كانت تجرى فى أثناء الليل » وحاول أن يحصل لها على صورة واضحة على قطعة أخرى من الورق باستخدام عدسة — شكل (٣ — ٩ ب) — . واستعان نيوتن بعدة خيوط سوداء شدها على قطعة الورق من أجل التأكد من دقة أو حدة الصور الناتجة . وبطبيعة الحال لم يستطع ، حسب تصوره ، أن يحصل على صورتين واضحتين لجانبي الورقة الملونة فى آن واحد ، ولهذا نجده يقول : « ولقد حاولت قدر المستطاع أن أعين الوضعين اللذين فيهما تظهر صورة كل من نصفى الورقة الملونة — الأحمر والأزرق — أكثر وضوحاً ، فوجدت أنه عندما يظهر نصف الورقة الأحمر على أتم وضوح وجلاء ، يكون النصف الأزرق مضطرباً ، بحيث تصعب رؤية الخطوط السوداء التى عليه . وعلى العكس من ذلك ، عندما يظهر النصف الأزرق على أتم وضوح وجلاء يصبح النصف الأحمر مضطرباً وتصعب رؤية الخطوط السوداء التى عليه » .

وكما كان متوقعاً كانت صورة الجزء الأزرق من الورقة تتكون بوضوح على مسافة أقل من تلك التى تتكون عليها صورة واضحة للجزء الأحمر .

وكانت التجربة الثانية هى دراسة ما يحدث عندما يمر ضوء الشمس الأبيض خلال المنشور . وقد عمد نيوتن إلى عمل ثقب صغير فى النافذة حصل بوساطته على حزمة ضيقة من ضوء الشمس ، فاعترض سبيلها بمنشور قبل أن تسقط على ستارة بيضاء أو حاجز خلفه على قرب منه . فبدلا من أن يشاهد صورة مستديرة (كالتى يحصل عليها من آلة التصوير ذات ثقب الدبوس) للشمس على الحاجز كما هى الحالة من غير المنشور ، رأى صورة مستطيلة ذات لون خفيف من الزرقة فى قمتها

ولون خفيف من الحمرة فى القاعدة . ولقد ألهمته هذه النتيجة وقادته إلى فكرة أن ضوء الشمس الأبيض يمكن أن يتكون من أشعة مختلفة الألوان : من الأشعة الزرقاء الأكثر قابلية للانكسار، إلى أقلها قابلية للانكسار، وهى الأشعة الحمراء . وإذا كان الأمر كذلك فلابد من أن تتكون الصورة المستطيلة التى على الحاجز من عدة صور متداخلة للشمس لها ألوان مختلفة ، فلا يبقى غير أحد طرفيها النهائيين أزرق خالصاً ، كما يبقى الطرف الآخر أحمر نقياً . ولكن لكى يتخلص من تداخل صور الشمس على الحاجز أدخل نيوتن على حزمة الضوء عدسة تعمل على تجميع صورة الثقب الصغير الذى بالنافذة على الحاجز — شكل (٣ — ١٠) — وعند ذلك قنع برؤية حزمة رأسية ذات ألوان ناصعة : الأحمر ، البرتقالى ، الأصفر ، الأخضر ، الأزرق ، والبنفسجى ، مع جميع الظلال المتخللة أو المتوسطة بين كل زوج منها . وكان هذا هو أول جهاز من أجهزة المطياف أو « سبكترسكوب » ، وأول برهان على الحقيقة القائلة إن الضوء الأبيض يتكون من أشعة ذات ألوان مختلفة وتتباين قابليتها للانكسار .

شكل (٣ — ١٠)

السير إسحق نيوتن يبين تحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف العديدة

وتبدو تجارب نيوتن التى استخدم فيها المنشور فى صورة بدائية للقارئ الحديث ، لأنه فى مقدور كل طفل اليوم إجراء هذه التجارب بكل تأكيد ، إلا أن الأمر لم يكن كذلك فى عهد نيوتن ، ذلك العهد الذى كان يسود فيه الاعتقاد بأن موضوع تلوين الضوء الأبيض إثر مروره خلال نوافذ الكاتدرائيات الزجاجية ذات البقع الملونة الجميلة الخلابة إنما يحكى تلوين الملابس البيضاء بعد غمسها فى محاليل الصبغات المختلفة . ونحن نعرف اليوم أن شبكية العين البشرية تحتوى على ثلاثة أنواع من الخلايا العصبية الحساسة الألوان ، وهى التى تستجيب للضوء الأحمر ، والضوء الأخضر ، ثم الضوء الأزرق . وعندما توجد كل ألوان الضوء بنسب تساوى عين نسبها الموجودة فى ضوء الشمس الذى نشأ فيه ودرج عليه عضو النظر خلال مئات ملايين السنين التى تطورت فيها الأحياء ، نشعر بأن الضوء « طبيعى » ، ونطلق عليه اسم « الضوء الأبيض » . ولكن عندما لا يوجد سوى جانب من الطيف فقط ، تتاح لنا فرصة الشعور بالألوان المختلفة * .

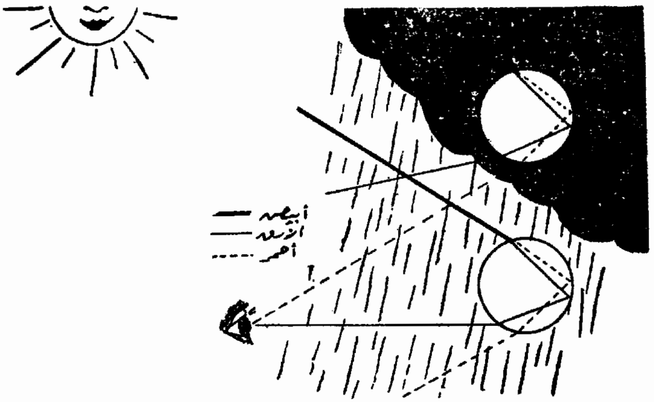
ومن بين الاستعمالات الهامة لاكتشاف نيوتن أن للأشعة ذات الألوان المختلفة ميلا متبايناً للانكسار ، نظريته الخاصة بقوس قزح ، أو ذلك العرض الرائع الخلاب للألوان فى السماء عندما يسطع ضوء الشمس فى ركن منها بينما تنتشر السحب الثقال المطيرة فى الركن المقابل . وتبعاً لتفسير نيوتن يكون الذى نراه فى هذه الحالة هو فى الواقع أشعة الشمس المنعكسة بقطرات المطر الصغيرة التى تسبح داخل السحب أو التى تنهمر منها . ويبين شكل (٣ — ١١) المأخوذ عن الرسم الأصلى لنيوتن الذى أورده فى كتابه (البصريات) مجرى الحوادث ؛ إذ نسقط أشعة الضوء الأبيض المنبعثة من الشمس (التى تمثلها الخطوط السوداء ** فى الشكل) على نقط الماء ثم تنكسر فى أثناء اختراقها لها . ويعقب ذلك انعكاس داخلى ثم انكسار أخير فى طريق

---

* أى ألوان جزء الطيف المرئى الموجود (المترجم) .

** علة تمثيل أشعة الضوء الأبيض بوساطة خطوط سوداء هى أن الخطوط البيضاء لا تظهر بطبيعة الحال على الورق الأبيض ، كما أننا سوف نرى فيما بعد فى هذا الكتاب أن الضوء الأبيض كثيراً ما يسميه المشتغلون بالفيزياء باسم « إشعاع الجسم الأسود » نظراً لانبعاثه على أكمل وجه من الأجسام السوداء (مثل الكربون) عند ما ترتفع درجة حرارتها بحيث تبدو بيضاء من السخونة (المؤلف) .

خروجها منها . وينجم عن هذا كله أن تنفصل الأشعة ذات الألوان المختلفة بعضها عن بعض إثر خروجها من نقط الماء وتنتشر كالمروحة، فيبصرها الراصد من الأرض



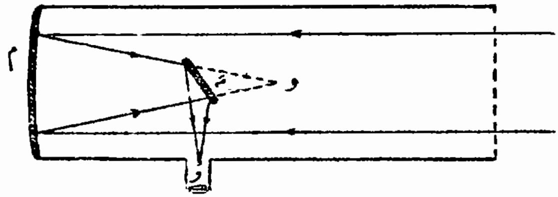
شكل (٣-١١)
تفسير نيوتن لألوان قوس قزح

عندما يعطى ظهره للشمس على هيئة ألوان متباينة تنبعث من اتجاهات مختلفة فى السماء . وتفسر ظاهرة وجود عدد من أقواس قزح متحدة المركز بالفرض القائل بأنه بدلا من انعكاس الأشعة المنبعثة من الشمس مرة واحدة داخل نقط المطر ، نجدها تنعكس داخلها عدة مرات . وجدير بنا أن نذكر هنا كذلك تلك الظواهر التى نطلق عليها اسم « الهالات » الضوئية ، وهى الأقواس عديمة الألوان التى تشاهد أحياناً حول قرص الشمس ، وخاصة حول القمر . وعلى العكس من قوس قزح نجد أن الهالات الضوئية إنما تحدث بسبب ارتداد الأشعة (وليس انكسارها) من بلورات الثلج الرفيعة التى تكون السحب العالية المعروفة فى علم الرصد الجوى (المتيورولوجيا) باسم السمحاق أو القزحية (السيرس) * .

وما إن فرغ نيوتن من التدليل على أن للضوء المكون من ألوان مختلفة قابلية متباينة للانكسار حتى استنتج (خطأً) أن للعدسات عيباً جوهريًّا لا سبيل إلى ملافاته فى تكوين الصور الدقيقة للأجسام، وذلك نظراً لعدم إمكان أى عدسة من تجميع الأشعة ذات الألوان المختلفة على بعد واحد منها . وقادته هذه الفكرة إلى

* هى فى الواقع السمحاق الطبقى ، وكذلك الطبقى المتوسط الارتفاع (المترجم) .

تقرير أن المناظير المكبرة (التلسكوبات) التى تستخدم فيها العدسات الزجاجية ، مثل المنظار الذى بناه غاليليو ، لا يمكن إدخال أى تحسين عليها ، ويجب إبدالها بالمناظير التى تعمل بانعكاس الضوء الذى هو ظاهرة لا دخل لها بالألوان .



شكل (٣-١٢)
تلسكوب نيوتن العاكس

وعلى هذا الأساس شيد فى عام ١٦٧٢ منظاراً عاكساً (أو العاكس) المبين فى شكل (٣ - ١٢) . وهو يتكون من مرآة على هيئة قطع مكافئ م تكون صوراً للأجرام السماوية فى النقطة و داخل أنبوبة المنظار . ولكن قبل أن تتجمع الأشعة فى البؤرة عند و تعترض سبيلها مرآة صغيرة م على محور المنظار ، لتردها أو تعكسها بدورها إلى وَ — التى تقع خارج الأنبوبة لكى يمكن مشاهدة الصورة . ولقد نجم خطأ نيوتن فى هذه الحالة عن اعتقاده بأن المواد الشفافة المختلفة تعمل على انكسار الألوان المختلفة بطريقة متماثلة . ولم يعرف الناس خطأ هذا الفرض إلا بعد موت نيوتن ، حيث تبين إمكان تجميع الضوء الأحمر والضوء الأزرق فى نقطة واحدة باستخدام العدسات المركبة المصنوعة من عينات مختلفة من الزجاج (مثل زجاج كراون وزجاج فلنت إلخ . .) وعلى أية حال فإن المناظير المكبرة العاكسة التى تستخدم فيها مرايا كبيرة ، كل مرآة منها على هيئة قطع مكافئ ، لها عدة مزايا رئيسية أخرى ، والحق يقال : إن أكبر منظارين فلكيين فى عصرنا هذا (وهما منظار المائة بوصة فى ماونت ولسون * ، ومنظار المائتى بوصة فى جبل بالومار) هما من النوع العاكس .

وثمة اكتشاف آخر لنيوتن خاص بتعدد الألوان . وهو ما يعرف باسم « حلقات

* وكذلك منظار الأربع والسبعين بوصة فى جبل القطمية بطريق السويس الذى بنته جامعة القاهرة (المترجم) .

نيوتن » ، تلك الحلقات الضوئية الّتي تظهر من حول نقطة التماس بين أى عدسة محدبة وسطح مستو توضع عليه العدسة . ونجده يصف هذا العمل بالكلمات الآتية :

« لاحظ الآخرون أن المواد الشفافة مثل الزجاج والماء والهواء وما على شاكلتها ، عندما تكون رقيقة جداً ، كما يحدث عندما نصوغها على هيئة فقاقيع أو ألواح رقيقة ، تعرض ألوانا مختلفة تبعاً لمدى رقتها ، رغم أنها تظهر نقية خالية من الألوان عندما تكون سميكة نوعاً . (وفى ابتداء هذا الكتاب) أمسكت عن معالجة هذه الألوان ، لأنها بدت صعبة الدراسة ، وغير أساسية فى استنباط خواص الضوء الذى تصدر عنه . ولكن نظراً لأنها قد تفضى إلى اكتشافات أخرى جديدة تعين على استكمال نظرية الضوء ، وعلى الأخص فيما يتصل بتكوين أجزاء الأجسام الطبيعية الّتى تتوقف عليها ألوانها أو شفافيتها ، كان لزاماً على أن أدرسها .

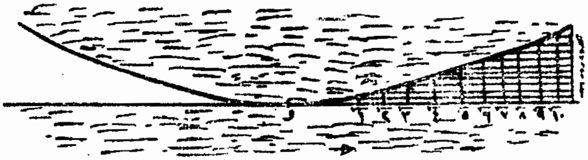
فقد استعملت عدستين (شيئيتين) * ، إحداهما محدبة — مستوية ، بعدها البؤرى نحو ٥٠ قدماً ، والأخرى محدبة الوجهين . وفوق هذه العدسة الثانية وضعت العدسة الأولى بحيث كان سطحها المستوى إلى أسفل ، وعمدت إلى ضغطهما معاً ببطء لكى تنبثق الألوان على التوالى وسط الدوائر ، ثم رحت أرفع العدسة العليا على مهل لأجعلها (أى الألوان) تختفى مرة أخرى على الترتيب حيثما وجدت . ويظهر اللون الذى ينبثق أخيراً وسط الألوان الأخرى أول ما يظهر على هيئة دائرة من لون يكاد يكون متجانساً من المحيط إلى المركز ، وعندما تضغط العدسة أكثر من ذلك تتسع رقعته وتزداد المساحة الّتى يغطيها حتى ينبثق لون جديد فى مركزه ، ومن ثم يصبح حلقة تغلف اللون الجديد . وعندما نعمد إلى الضغط على العدسة أكثر من ذلك يزداد قطر الحلقة ويتناقص فى نفس الوقت عرضها (أو سمكها) حتى يظهر لون جديد آخر فى مركز اللون السابق له .

وهكذا يظهر لون ثالث ، فرابع ، فخامس ، على التوالى . ويؤول أمرها جميعاً إلى حلقات من حول اللون الذى يظهر فى آخر السلسلة من الداخل حتى تنتهى العملية ببقعة سوداء فى المركز . وعلى العكس من ذلك ، عندما نشرع فى رفع العدسة

* الشيئية : هى العدسة الّتى تقابل الجسم المرئى (المترجم) .

العليا رويداً رويداً عن العدسة التى تحتها ، تتناقص أقطار الحلقات ، ويزداد سمكها فى نفس الوقت ، حتى تدرك الألوان المركز على التوالى ، وعند ذلك ، نظراً لأنها تكون ذات سمك عظيم ، أستطيع أن أشاهد بسهولة وأميز أنواعها عن ذى قبل . وبهذه الطريقة رصدت تتابعها ومقاديرها ووجدتها على النحو الآتى :

البقعة المركزية الرائقة التى تنجم عن التصاق العدستين يليها اللون الأزرق ، فالأبيض فالأصفر ثم الأحمر . ومقدار اللون الأزرق صغير لدرجة أننى لم أتمكن من مشاهدته فى الدوائر المتكونة بالمنشورات ، كما أننى لم أستطع أن أميز تماماً أى لون بنفسجى فيها ، إلا أن اللونين الأصفر والأحمر كانا ظاهرين تماماً ، وكان اتساعهما يقارب اتساع اللون الأبيض ، أو ما يعادل أربعة أو خمسة أضعاف اتساع اللون الأزرق . وتكونت الدائرة التى تلتها بحسب ترتيب الألوان ، والتى غلفت هذه المجموعة مباشرة ، من البنفسجى ، الأزرق ، الأخضر ، الأصفر ، فالأحمر . وكانت هذه الألوان كلها واضحة جلية ، فيما عدا الأخضر الذى كان ضئيل المقدار جداً ، وبدا خافتاً وأقل تركيزاً بالنسبة لغيره من الألوان. وكان البنفسجى أقل الألوان الأربعة الأخرى امتداداً ، كما كان الأزرق أقل من الأصفر أو الأحمر. أما الدائرة (أو الطريقة) الثالثة فى المتوالية فقد كانت تتكون من القرمزى فالأزرق ، فالأخضر ، فالأصفر ، ثم الأحمر . وكان اللون القرمزى أكثر احمراراً من اللون البنفسجى الذى ظهر فى الدائرة السابقة ، كما بدا اللون الأخضر بارزاً ، نظراً لوضوحه وتميزه كباقى الألوان ، فيما عدا الأصفر . ولكن اللون الأحمر أخذ يذبل قليلا ويميل إلى القرمزى . وجاءت بعد ذلك الدائرة الرابعة وقوامها الأخضر ، والأحمر . وقد كان اللون الأخضر حيًّا تام الوضوح ، كما كان يميل على أحد جانبيه إلى الأزرق ويميل على الجانب الآخر إلى الأصفر . ولكن هذه الدائرة الرابعة خلت من البنفسجى والأزرق والأصفر ، كما كان اللون الأحمر فيها غير مكتمل تماماً وغير نقى . وظهرت الألوان التى تتابعت بعد ذلك فى صور باهتة غير تامة ولا مركزة ، حتى إنه بعد ثلاث لفات أو أربع انتهى بها الأمر إلى اللون الأبيض الناصع » .



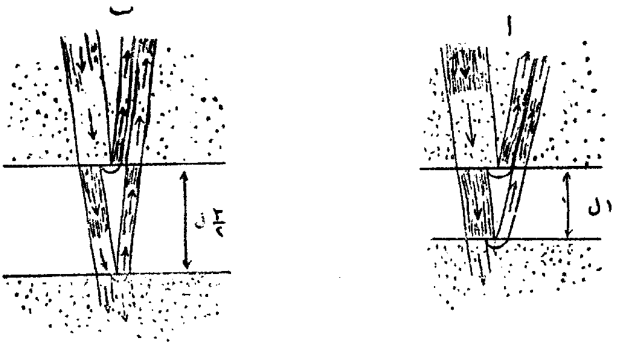
شكل (٣-١٣)
تكوين حلقات نيوتن

تظهر اللوحة رقم (١) العليا صورة فوتوغرافية لحلقات نيوتن ، تم الحصول عليها باستخدام ضوء وحيد اللون ، له طول موجة واحدة) .
وبقياس أنصاف أقطار الحلقات الست الأولى (فى أكثر أركانها لمعاناً وظهوراً) أوجد نيوتن أن مربعاتها إنما تكون متوالية حسابية من الأعداد الفردية : ١ ، ٣ ، ٥ ، ٧ ، ٩ ، ١١ . ومن ناحية أخرى وجد أن مربعات أنصاف أقطار الحلقات المظلمة تكون متوالية من الأعداد الزوجية : ٢ ، ٤ ، ٦ ، ٨ ، ١٠ ، ١٢ ويوضح شكل (٣ — ١٣) الوضع ؛ إذ يمثل مقطعاً مستعرضاً للسطح المحدب والسطح المستوى للعدستين حول نقطة تماسهما . ولقد رسمت المسافات مقيسة على الجذور التربيعية للأعداد الصحيحة :

$\sqrt{١} = ١$ ، $\sqrt{٢} = ١,٤١$ ، $\sqrt{٣} = ١,٧٣$ ، $\sqrt{٤} = ٢$ ، $\sqrt{٥} =$ ٢,٢٤ وهكذا . . على المحور الأفقى ، وهذه هى المسافات التى شاهد عندها نيوتن نهايات عظمى وأخرى دنيا من الضوء على التوالى . ولعلنا نلاحظ فى هذا الشكل (وهو أمر يمكن إثباته رياضياً كذلك) أن المسافات الرأسية التى تفصل بين سطحى العدستين تزداد تبعاً لمتوالية حسابية بسيطة هى : ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ وهكذا . . .
فعندما عين نيوتن قطر العدسة المحدبة استطاع أن يحسب بسهولة سمك طبقة الهواء فى الأماكن التى تظهر فيها الحلقات المضيئة والمظلمة . وقد كتب يقول : . . . .
($\frac{١}{٨٩٠٠٠}$) جزء من البوصة هو سمك الهواء فى أشد الأجزاء إعتاماً من الحلقة الأولى المظلمة الناجمة عن استخدام أشعة متعامدة . ونصف هذا السمك مضروباً فى المتوالية : ١ ، ٣ ، ٥ ، ٧ ، ٩ ، ١١ . . . إلخ ، يعطينا سمك الهواء فى أشد الأجزاء إضاءة فى كل حلقة من الحلقات المضيئة ، وهو : $\frac{١}{١٧٨٠٠٠}$ ، $\frac{٣}{١٧٨٠٠٠}$ ، $\frac{٥}{١٧٨٠٠٠}$ ، $\frac{٧}{١٧٨٠٠٠}$ . . . وهكذا . والأوساط الحسابية لهذه القيمة وهى : $\frac{٢}{١٧٨٠٠٠}$ ، $\frac{٤}{١٧٨٠٠٠}$ ، $\frac{٦}{١٧٨٠٠٠}$ . . . وهكذا ، تمثل على التوالى السمك فى

أشد الأجزاء إعتاماً فى الحلقات المظلمة المتوالية .

وعلى عكس ما قرره نيوتن (وما أوردناه سابقاً) من أن ألوان قوس قزح المتكون فى الطبقات الرقيقة « غير لازمة لصياغة خواص الضوء » ، نجد أن حلقات نيوتن إنما تمثل أو تهيئ برهاناً من أحسن البراهين التى تؤيد الطبيعة الموجية للضوء ، وهى حقيقة لم يشأ نيوتن أن يقرها حتى مماته ؛ فالحلقات هى نتيجة ما نطلق عليه اسم « التداخل » بين حزمتين من الضوء يعكسهما سطحا الزجاج اللذان تفصل بينهما مسافة متغيرة . فعندما تقبل حزمة ضيقة من الضوء وتسقط من أعلى على الحد الفاصل بين زجاج العدسة العليا وطبقة الهواء التى بين العدستين ، فإن جانباً منها يرتد ، على حين ينفذ الباقى خلال طبقة الهواء . ويحدث ارتداد أو انعكاس جزئى مرة أخرى عندما تدخل الحزمة زجاج العدسة السفلى ، وهكذا تنطلق الحزمتان المرتدتان إلى أعلى معاً إلى عين الراصد . ويوضح شكل (٣ — ١٤) ما يحدث فى مثل هذه الحالة ويمثلها بيانيًّا — أى بالرسم — . ولتسهيل عملية الرسم تمثل الأمواج بوساطة امتدادات سوداء (الأوج أو القمة) ، وأخرى بيضاء (الحضيض أو القاع) . وكذلك لم ترسم حزم الضوء عمودية تماماً على السطح الداخلى تجنباً لتداخل الخطوط . وعلى أية حال فإن هذا هو عين ما يحدث بالفعل ، نظراً لأن مصدر الضوء ورأس الراصد لا يمكن أن يكونا على خط واحد . ويرينا شكل (٣ — ١٤ ا) ما يحدث عندما يساوى سمك طبقة



شكل (٣—١٤)

تفسير يونج لحلقات نيوتن

الهواء نصف طول موجة الضوء الساقط (يمثل طول الموجة الكاملة فى الشكل امتداد

أبيض وآخر أسود معاً) . وفى هذه الحالة تلحق الموجةُ المرتدةُ من سطح العدسة السفلى وتدرك الموجة المرتدة من العدسة العليا بحيث ينطبق أوج الموجة الأولى مع حضيض الموجة الثانية والعكس بالعكس . فإذا ما توافرت لهذه الموجات نفس الشدة فإنها بطبيعة الحال تلغى بعضها بعضاً ، وإلا فإن شدة الموجات تقل كثيراً . ويمثل شكل (٣ — ١٤ ب) الحالة عندما يساوى سمك طبقة الهواء ثلاثة أرباع طول موجة الضوء الساقط . وهنا تنطلق الموجتان المرتدتان بحيث ينطبق الأوج على الأوج ، والحضيض على الحضيض ، وبذلك تزداد الشدة . وكلما ازداد سمك طبقة الهواء بعد ذلك حصلنا على التوالى على حالات من الضعف والتقوية كلما تغير السمك بمقدار (ربع) طول الموجة ل. وفى التجربة التى أجراها نيوتن يزداد السمك باستمرار كلما اتجهنا إلى الخارج بعيداً عن نقطة التماس ، وبذلك نشاهد حلقات مظلمة وأخرى مضيئة على التوالى . ولما كان الضوء المكون من ألوان عديدة مختلفة ينتمى إلى أطوال أمواج متباينة ، فإنه بطبيعة الحال تختلف إلى حد ما أنصاف أقطار حلقات الألوان المتباينة ، وبذلك نشاهد حلقات قوس قزح على هيئة قرص نيوتن . ونحن عندما نستخدم الأرقام السابقة التى أعطاها نيوتن لكثافة الهواء ، نجد أن طول موجة الضوء الذى يحدث الحلقات التى لها أنصاف الأقطار المذكورة يلزم أن يكون $\frac{}{١٧٨٠٠٠}$ بوصة ، أو ٠,٥٨ × $١٠^{-٤}$ سم . وكما نعرف اليوم هذا هو طول موجة الضوء الأصفر ، وهو أكثر أجزاء الطيف المرئى لمعاناً .

ولكن نيوتن كان يعارض النظرية الموجية للضوء بعنف وشدة ، ويرجع ذلك غالباً إلى أنه لم يدرك كيف يمكن أن تفسر هذه النظرية انتشار أشعة الضوء فى خطوط مستقيمة . وقد أصر على أن أحزمة الضوء يجب أن تكون مجرى من الجسيمات المندفعة بسرعة خارقة عبر الفضاء . وعلى هذا الأساس، لما أراد تفسير ظهور حلقات التداخل ، عمد إلى اختراع نظرية معقدة عن « نوبات الانعكاس الهين والانتقال »، وتبعاً لتلك النظرية . . . عندما يمر أى شعاع ضوئى عبر سطح انكسار فإنه يمر خلال تكوين انتقالى خاص أو حالة ، تعود فى أثناء تقدم الشعاع فى فترات متساوية لتمكنه عند كل عودة من أن ينتقل بسهولة خلال سطح الانكسار الثانى ، ومن أن يرتد أو ينعكس بسهولة فيما بين اللحظات التى تعود فيها .

ويقابل « طول النوبة » عند نيوتن بطبيعة الحال ما نطلق عليه اليوم طول الموجة، ولقد استنتج أن « طول النوبة » هذا أكبر للضوء الأحمر وأقصر للأزرق ، إلا أنه يقول : إننى لا أتطلب هنا معرفة أي نوع هذا من الفعل أو الطبع ، سواء تضمن حركة دائرية أو ترددية تحترى الشعاع ، أو الوسط .

وكان خصم نيوتن فى مناقشة موضوع طبيعة الضوء ، وهو الرجل الذى ربحت نظريته وراجت فيما بعد ، هو عالم الفيزياء الهولندى ، كرستيان هيجنز ، الذى سبقه بثلاثة عشر عاماً . وخير تلخيص للأسباب التى حملت هيجنز وحثته على تفضيل اعتبار الضوء موجات تنتشر خلال وسط عال يملأ أرجاء الفضاء كافة بدلا من اعتباره إياه حزمة من الجسيمات المتحركة بسرعة كبيرة ، هو ما ورد فى إحدى فقرات كتابه « تريتى دو لالوميير » Traité de la lumière الذى نشر عام ١٦٩٠ فقد جاء فى هذه الفقرة :

حول انتشار أشعة الضوء فى خطوط مستقيمة : تعتمد طرق التدليل فى علم البصريات ، على غرار جميع العلوم التى تستخدم فيها الهندسة فى شئون المادة ، على الحقائق التى تنجم عن الخبرة . مثال ذلك الحقيقة القائلة بأن أشعة الضوء تنتشر فى خطوط مستقيمة ، وأن زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط ، كما أن الانكسار يخضع لقاعدة الجيب ، المعروفة تماماً فى عصرنا هذا ، والتى لا نتردد فى اعتبارها حقيقة فى مستوى الحقائق السابقة .

ولقد اكتفى أغلب أولئك الذين كتبوا عن النواحى المختلفة من البصريات باعتبار هذه الحقائق قضية مسلمة . وعمد بعض المحصين الباحثين عن مصادرها وأسبابها إلى اعتبارها من مظاهر الطبيعة الخلابة الملازمة لها. وعلى أية حال فبرغم أن الآراء التى أخرجت للناس فى هذا المجال تدل على العبقرية ، إلا أنها لا تغنى المفكرين من ذوى الأصالة فى الرأى عن مواصلة البحث من أجل الحصول على طبيعة للضوء أكثر إقناعاً ، وإنى لأرغب فى أن أعرض هنا آرائى فى هذا الموضوع ، حتى أشارك قدر جهدى فى حل هذا الفرع من العلم ، الذى يعتبر من أصعب الفروع لأسباب عديدة . وإنى لأقدم خالص امتنانى وأرجع الفضل إلى أولئك الرواد الأول الذين كانوا أول من بدأ بتبديد وإزالة ذلك الظلام العجيب الذى يخيم حول هذه الأشياء ،

وكذلك أولئك الذين أعطونا الأمل فى إمكان تفسيرها تفسيراً يقبله العقل . إلا أننى من ناحية أخرى لم يدهشنى بتاتاً أن أجد فى أكثر الأحايين أنهم كانوا يعتبرون بعض الآراء فى مرتبة أبعد الحقائق رسوخاً وأعظمها استقراراً ، فى حين أنها لم تكن تعدو كونها رثة وركيكة إلى أقصى حد ، ذلك لأننى أعلم علم اليقين أنه لم يتوصل أحد بعد إلى إعطائنا تفسيراً مقنعاً ، حتى فيما يتعلق بظواهر الضوء الأولى وأعظمها أهمية ، مثل : لماذا هو ينتشر فى خطوط مستقيمة على التحديد ؟ وكيف أن أشعة الضوء المقبلة من عدد لا نهائى من الاتجاهات المتباينة تمضى دون أن يعترض بعضها سبيل بعض ؟

ولذلك فسوف أحاول فى هذا الكتاب ، على أساس المبادئ الفلسفية المعاصرة ، أن أعطى أسباباً قوية وأكثر احتمالا لهذه الخواص ، مبتدئاً أولا بانتشار الضوء فى خطوط مستقيمة ، ثم ثانياً بانعكاس الضوء عندما يسقط على الأجسام الأخرى . وبعد ذلك سوف أعمد إلى تفسير تلك الخواص الخاصة بالأشعة التى عندما تخترق أنواعاً مختلفة من المواد الشفافة تعانى ما يسمى الانكسار ، ومن ثم سوف أعالج كذلك ظاهرة الانكسار فى الهواء الناجم عن اختلافات كثافة الغلاف الجوى .

وسيتناول بحثى أيضاً الانكسار الشاذ للضوء فى بلورة خاصة من أيسلاند . وأخيراً سوف أعالج موضوع الأنواع المختلفة للأجسام الشفافة والأجسام العاكسة ، تلك الأجسام التى عندما نستخدمها نجد أن الأشعة إما أن تتجمع فى نقطة واحدة وإما أن تتفرق بطرق مختلفة . وسوف نرى بعد كل هذا كيف تقودنا نظريتنا الجديدة بكل سهولة إلى أن نكتشف — ليس فقط مجرد تلك القطاعات الناقصة والزائدة ، وغيرها من المنحنيات التى افترضها ديكارت بعبقريته الفذة لهذه الظاهرة — وإنما كذلك تلك الأشكال التى تكون سطحاً من سطوح أى عدسة عندما نعرف أن سطحها الثانى كروىّ أو مستو ، أو أى شكل آخر . . .

ولما كنا على يقين ، تبعاً لهذه الفلسفة ، من أن حاسة الإبصار تتم بفعل حركة معينة لمادة تؤثر فى الأعصاب الموجودة خلف أعيننا ، فإن هذا هو سبب من الأسباب التى تحملنا على الاعتقاد بأن الضوء إنما يتكون من حركة المادة المنتشرة بيننا وبين الجسم المضىء . وإذا ما عمدنا إلى الاهتمام بقدر وعمل حساب السرعة

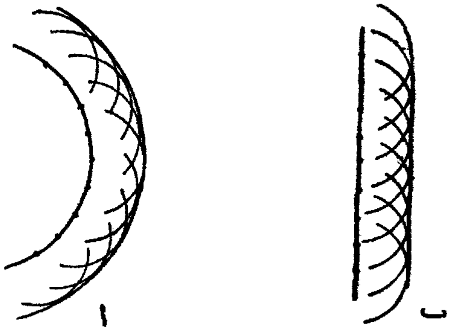
الخارقة التى ينتشر بها الضوء فى شتى الاتجاهات ، وكذلك حساب أن الأشعة عندما تقبل من اتجاهات مختلفة تماماً، بل متضادة، فإنها تستمر فى حركتها دون أن يعترض أحدها سبيل الآخر ، عند ذلك نستطيع أن نفهم تماماً أننا كلما استخدمنا جسماً مضيئاً لا يمكن أن يكون سر إضاءته هو إشعاع مادة أو إرسالها لتصل إلينا ، كما يحدث فى حالة القذيفة ، أو كما تطير السهام فى الهواء ؛ لأن هذا إنما يناقض تماماً صفتى الضوء ، وعلى الأخص صفته الثانية . وعلى ذلك فلابد أنه ينتشر بطريقة أخرى ، وعلى وجه التحديد يمكن أن تقودنا معرفتنا بانتشار الصوت فى الهواء إلى فهم طريقة انتشار الضوء هذه .

فنحن نعرف أنه بوساطة الهواء — الذى هو جسم غير مرئى وغير محسوس * — ينتشر الصوت فى شتى أرجاء الفضاء المحيطة بمصدره، وذلك بحركة تتقدم تدريجياً من كل جزىء من جزيئات الهواء إلى الجزىء الذى يليه . ولما كان انتشار هذه الحركة يتم بسرعة متساوية فى شتى الاتجاهات ، فإنه لابد من تولد سطوح كروية تستمر فى الانتشار بمضى الوقت حتى تصل إلى آذاننا . ونحن الآن لا نشك فى أن الضوء كذلك يصلنا من الأجسام المضيئة بوساطة نوع من الحركة يسبغها على المادة المتخللة بيننا . وقد رأينا كيف أن هذا لا يمكن أن يتم بانتقال جسم بالذات من مصدر الضوء إلينا . فإذا كان الضوء يستلزم استغراق بعض الوقت فى مساره ، كما سنبحث ذلك سريعاً ، فإن الحركة التى يسبغها على المادة تتم على التدريج ، كما أنه على غرار الصوت يجب أن ينتشر فى أسطح كروية أو موجات . وإنى أسميها موجات لشبه بينها وبين الأمواج التى تتكون فى الماء عندما نلقى فيه بحجر ، ولأنها تمكننا من أن نبصر انتشاراً تدريجياً مماثلا فى دوائر ، رغم أنها تنجم عن سبب مخالف ولا تتكون إلا فى سطح مستو فقط . . .

وعندما نتعرض لموضوع انتشار الأمواج ، سواء أكان ذلك على سطح الماء أم فى الهواء ، أم فى « عالم الأثير » الغامض الذى يحمل أمواج الضوء ، نجد أن هيجنز إنما يبنى رأيه على مبدأ بسيط يعرف اليوم باسمه . لنفرض أننا سندرس أعم الحالات وأوضحها، وهى التى تتوافر عندما نلقى بحجر فى بركة مثلا، وأننا نبصر موجة دائرية ،

* نحن لا نحس بالهواء إلا عند تحركه ، حيث يعرف باسم الريح (المترجم) .

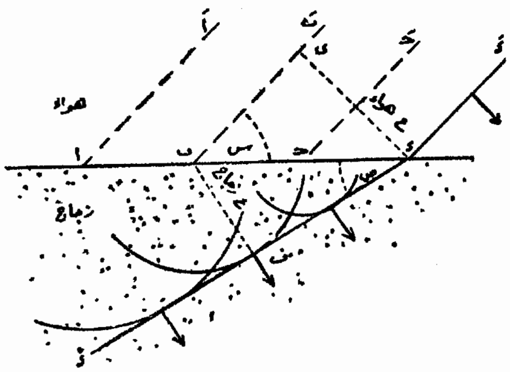
أو على الأصح سلسلة من الأمواج المتتابعة ، تنتشر حول النقطة التى نفذ فيها الحجر فى السطح . والسؤال هو : إذا ما أعطى لنا وضع موجة ما فى لحظة معينة ، فكيف نعين موضعها عقب فترة قصيرة من الزمان؟ والإجابة عن هذا السؤال حسب قاعدة هيجنز هى : « تعتبر كل نقطة موجودة على جبهة الموجة الآخذة فى الانتشار بمثابة المصدر لموجة جديدة ، أو مويجة ، ويكون الوضع الجديد لجبهة الموجة هو السطح الذى يطوى* هذه المويجات الصغيرة المنبعثة من جميع نقط الموجة عند وضعها الأول » . ويمثل شكل (٣ — ١٥) هذه الفكرة فى أبسط حالات الموجة الدائرية والموجة المستوية .



شكل (٣ — ١٥)
قاعدة هيجنز لانتشار الأمواج

وأروع تطبيقات قاعدة هيجنز استخدامه لها فى تفسير انكسار الضوء الممثل فى شكل (٣ — ١٦) : لنفترض مثلا أن جبهة مستوية تسقط من أعلى اليسار على السطح الفاصل بين الهواء والزجاج (أو أى وسطين آخرين) . فعندما تكون هذه الجبهة فى الوضع ا اَ وتمس سطح الانفصال فى النقطة ا ، تبدأ مويجة كروية فى الانتشار داخل الزجاج من هذه النقطة. وكلما تقدمت جبهة الضوء فى الهواء تنطلق منها مويجات متتابعة ومماثلة من النقطتين ب ، جـ ، ... ولقد تم رسم شكل (٣—١٦) فى اللحظة التى كانت عندها الجبهة فى الموضع د دَ وهى نفسها اللحظة التى فيها شرعت المويجة من د تنبثق لتنتشر داخل الزجاج . ولكن لكى نعين موضع الجبهة الضوئية فى الزجاج يجب علينا أن نستنتج المماس الذى يطوى جميع المويجات التى سبق

* هو عينه السطح الذى يمس أو يجمع بالتماس (المترجم) .



شكل (٣–١٦) تفسير هيجنز لانكسار الضوء

انطلاقها (بمرور الضوء على السطح العاكس) هذا المماس هو فى هذه الحالة خط مستقيم . فإذا كانت سرعة الضوء ، كما هو مفروض فى الرسم، داخل الزجاج أقل من سرعته فى الهواء (أى إن أنصاف أقطار المويجات داخل الزجاج أصغر من المسافات التى تفصل بين الأوضاع المتتالية للجبهة فى الهواء) ، فإن جبهة الضوء سوف تميل إلى أسفل داخل الزجاج ، وبذلك تصبح الأشعة المنكسرة أقرب للعمودى من الأشعة الساقطة . هذا هو عين ما يحدث عند ما يمر الضوء من الهواء إلى الزجاج . أما إذا افترضنا جدلا أن سرعة الضوء داخل الزجاج هى أكبر من سرعته فى الهواء فإن العكس تماماً يحدث. ولكى نعين العلاقة بين زاوية السقوط س وزاوية الانكسار ص * ، نأخذ مثلثين قائمى الزاوية ب د ى ثم ب د ف بينهما وتر مشترك (ب د) ، فمن تعريف جيب الزاوية نجد أن :

$$\text{حا س} = \frac{\text{ى د}}{\text{ب د}} \quad \text{،} \quad \text{حا ص} = \frac{\text{ب ف}}{\text{ب د}}$$

وبقسمة : المعادلة الأولى على المعادلة الثانية نحصل على :

$$\frac{\text{جا س}}{\text{حا ص}} = \frac{\text{ى د}}{\text{ب ف}} = \frac{\text{ع} - \text{هواء}}{\text{ع} - \text{زجاج}}$$

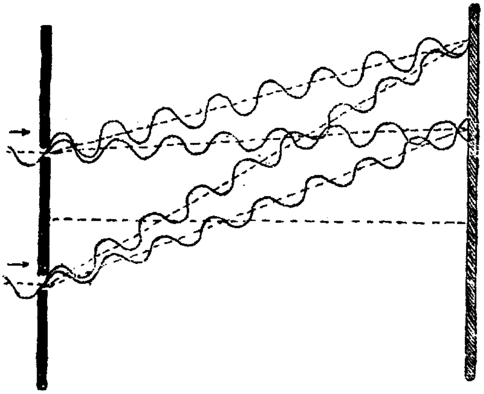
* هما الزاويتان المحصورتان بين اتجاهى الأشعة والعمودى على السطح الفاصل بين الوسطين ، أو هما الزاويتان المحصورتان بين الجبهة وذلك السطح (المؤلف) .

حيث ع — هواء ، ع — زجاج هما سرعة الضوء فى الهواء وفى الزجاج على التوالى . وهذا هو عين قانون سنل ، مع تحوير يجعل النسبة بين حدى الزاويتين ، التى تعرف باسم معامل الانكسار ، مساوية للنسبة بين سرعتى الضوء فى هذين الوسطين . وينتج من هذا أن تكون سرعة الضوء فى الأوساط الكثيفة (مثل الزجاج) أقل من سرعته فى الأوساط القليلة الكثافة (كالهواء) .

ومن الطريف حقاً أن نلاحظ أن نظرية الجسيمات الضوئية لنيوتن تقودنا إلى نتائج عكسية تماماً . والحق يقال إننا عندما نريد تفسير انحناء الأشعة عند دخولها من الهواء إلى الزجاج على أساس نظرية الجسيمات هذه ، نجد أنه يلزمنا أن نفترض وجود نوع من القوة المتعامدة على السطح الفاصل تعمل على جذب جسيمات الضوء إلى الداخل إثر عبورها له . وفى هذه الحالة ، بطبيعة الحال ، تكون سرعة الضوء فى الزجاج أكبر من سرعته فى الهواء .

انتصار النظرية الموجية للضوء

رغم ما بدا من مزايا لنظرية هيجنز الموجية للضوء ، ورغم تفوقها على نظرية الجسيمات لنيوتن ، فإنه لم تتح لها فرصة الشهرة ولم يعترف بها إلا بعد مدة طويلة . ويرجع ذلك إلى ما كان يتمتع به نيوتن من ثقة وتقدير بين معاصريه من ناحية ، ثم إلى إخفاق هيجنز فى صوغ آرائه بالدقة التى تمكنها من الصمود ضد المعارضين من ناحية أخرى . وعلى هذا الأساس ظل السؤال الخاص بطبيعة الضوء معلقاً فى الهواء زهاء قرن كامل ، إلى حين ظهور ورقة عام ١٨٠٠ ، كتبها عالم الفيزياء الإنجليزى توماس ينج ، بعنوان : « تخطيط التجارب والاستفهامات المتعلقة بالصوت والضوء » . وقد فسر ينج فى ورقته هذه ظاهرة حلقات نيوتن على أساس طبيعة الضوء الموجية ، كما وصف تجربته هو التى يمكن بها أن نشاهد تداخل حزمتين من الضوء بطريقة أكثر بدائية . وفى هذه التجربة — شكل (٣ — ١٧) — استخدم ثقبين قريبين من بعضهما فى ستارة تغطى نافذة غرفة مظلمة . فعندما يكون الثقبان كبيرين نسبياً يكوّن نور الشمس الذى ينفذ خلالهما بقعتين من الضوء على الحاجز الموضوع على بعد منهما . ولكن عندما يكون الثقبان صغيرين جداً تنفرج



شكل (٣-١٧)
تجربة التداخل لينج

حزمتا الضوء إثر انبثاقهما من الثقبين تبعاً لقاعدة هيجنز ، وكذلك تنفرج البقعتان فيحدث تداخل جزئى بين الحزمتين . وقد شاهد ينج متوالية من حزم ملونة من أقواس قزح تفصلها مسافات مظلمة فى المنطقة التى يصل خلالها إلى الحاجز ضوء من كل من الثقبين على غرار حلقات نيوتن . وعندما جعل ثقبى الستارة تفصلهما مسافة ملليمتر واحد ، وثبت الحاجز على بعد متر منها ، صار سمك الحزمة الواحدة نحو ٠,٦ ملليمتر . ويقوم تفسير هذه الظاهرة على أساس تداخل موجات الضوء ، تماماً كما يحدث فى حالة حلقات نيوتن . والنقطة ا (على الحاجز) التى تقع فى منتصف المسافة التى بين الصورتين تماماً تكون متساوية البعد من الثقبين و ، وَ ، وبذلك تصل إليها موجات الضوء وهى متفقة فى (الطور*) ، أى قمة مع قمة (أو أوج مع أوج) ، وقاع مع قاع (أو حضيض مع حضيض) ، وبذلك تضاف الحركة الموجية فى كليهما وتزداد الإضاءة . وتسرى نفس هذه القاعدة على النقطة جـ التى يختلف بعدها عن كل من و ، وَ بمقدار يساوى طول موجة واحدة . ومن ناحية أخرى فى النقطتين ب ، د حيث (ب و — ب وَ) ، (د و — د وَ) يختلفان

* يعنى الشكل أو الهيئة (فيما يختص بالحركة الموجية) (المترجم) .

بمقدار نصف طول الموجة ، ومقدار ½١ طول الموجة على التوالى ، نجد أن أمواج الضوء المقبلة تخرج عن (الطور) فيقع الأوج على الحضيض . وهنا يشاهد المرء الحزمة المظلمة .

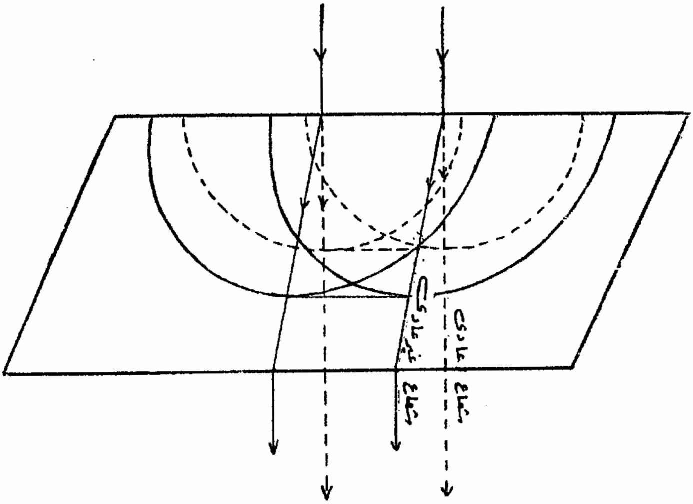
ولم تلبث أعمال توماس ينج ومعاصره الفرنسى العظيم أوجستين جين فرنل أن دعمت صحة النظرية الموجية للضوء ،وبذلك ربح هيجنز المعركة التى قضى فيها حياته بعد موت نيوتن .

بلورة من أيسلاند

وثمة مسألة أخرى عولجت ولكن لم يحلها كل من نيوتن وهيجنز ، وهى مسألة استقطاب الضوء . فقد حدث فى عام ١٦٦٩ أن اكتشف الفيلسوف الهولندى أراسمس بارثولين أن بلورات معدنية شفافة يقال لها « آيسلاند سبار » لها خاصية عجيبة هى تجزئة أشعة الضوء التى تمر خلالها فى اتجاه معين إلى شعاعين منفصلين (اللوحة رقم (١) السفلى) . وإذا ما أديرت البلورة حول اتجاه شعاع الضوء الساقط عليها ، فإن أحد الشعاعين الخارجين منها ، وهو الذى يسمى الشعاع العادى ، يظل ثابتاً ، أما الشعاع الثانى ، وهو غير العادى ، فيلف كلما أديرت البلورة . ولقد فسر هيجنز هذه الظاهرة على القرص بأن الشعاع الضوئى عند دخوله فى بلورة أيسلاند سبار (وبعض البلورات الأخرى كذلك) ينقسم إلى موجتين ،تنتشر إحداهما بنفس السرعة فى شتى الاتجاهات داخل البلورة ، على حين تتوقف سرعة انتشار الثانية على اتجاهها بالنسبة للمحور البلورى . ويرينا شكل (٣ — ١٨) فكرة هيجنز ورأيه فى الكيفية التى تجعل هذا الفرق فى سرعة الانتشار يتمخض عن تولد شعاعين . وتعتمد هذه الفكرة ، بطبيعة الحال ، على قاعدة هيجنز . فعندما تسقط حزمة الضوء فى اتجاه متعامد على سطح بلورة الأيسلاند سبار تتكون مجموعتان من المويجات هما المويجات الكرية * ومويجات القطاعات الناقصة . وتؤدى المويجات الكرية إلى جبهة مستمرة فى نفس اتجاه الجبهة الساقطة . أما مويجات القطاعات

* أى إن جبهتها سطح كروى (المترجم) .

الناقصة فإنها تحمل الجبهة المتكونة على التزحزح بصفة مستمرة على الجانبين ، وبذلك ينشأ الشعاع غير العادى . وعندما يخرج الشعاعان من البلورة لا يتكون فى الهواء سوى موجات كرية وتتوازى الحزمتان. ورغم أن تفسير هيجنز هذا كان سليماً تماماً ، إلا أنه لم يستطع أن يعلل سر انشطار موجات الضوء إلى فرعين ينتشران بطريقتين مختلفتين .. وعلة ذلك اعتقاده أن الذبذبات التى تصحب موجات الضوء تحدث فى نفس اتجاه انتشار الموجات (أى ذبذبات طولية *) كما هو الحال فى الصوت ، وبذلك لا يحدث أى فرق ، إذا صحب شعاعا من الشعاعين دوران



شكل (٣–١٨)

تفسير هيجنز لظاهرة الإنكسار المزدوج

أو لف داخل البلورة حول اتجاه الحزمة الساقطة . على أن نيوتن ، نظراً لعدم تسليمه بموجات هيجنز ومويجاته ، فكر فى تفسير هذه الظاهرة (التى تعرف باسم الانكسار المزدوج) ، بأن افترض أن الجزيئات التى تكون الشعاعين العادى وغير العادى ينالها اختلاف فى توجيهها فى الاتجاه العمودى على الشعاع . وفى الطبعة الثانية من كتابه (البصريات) يعمد نيوتن إلى مقارنة الفرق بين الشعاعين بالفرق بين قضيبين

* هناك أيضاً الذبذبات المستعرضة وهى التى تتحرك فيها جزيئات الوسط فى اتجاه متعامد على اتجاه انتشار الموجة ، كما هى الحال فى أمواج البحر مثلا (المترجم) .

طويلين : أحدهما مقطعه دائرى ، والثانى على هيئة مستطيل . فإذا ما أدار أحد القضيب الأول حول محوره لا يحدث فرق ملحوظ ، ويخالف ذلك بكل تأكيد ما يحدث للقضيب الثانى عند إدارته . ويقول نيوتن فى كتابه : « وعلى ذلك فلكل شعاع ضوئى جانبان متقابلان وهما من الأصل صفة تتوقف عليها ظاهرة الانكسار غير الطبيعى ، وجانبان آخران متقابلان لا تتوافر لهما هذه الصفة » .

وجلى أن نيوتن — وقد كان يعرف أنه يجب أن تتوافر لأشعة الضوء بعض الخواص المستعرضة (أى المتعامدة على اتجاه الانتشار) — لم يكن فى وسعه أن يصور لنا كنهها .

ولم يتم توحيد وجهات نظر هيجنز ونيوتن فى موضوع الذبذبات الضوئية وصوغها فى إطار واحد إلا بعد مدة طويلة ، على يد عالم الفيزياء الفرنسى أيتيين مالوس (١٧٧٥ — ١٨١٢) . فليس من شك أن الضوء لا يعدو كونه أمواجاً تنتشر عبر الفضاء ، إلا أن ذبذبات الوسط تحدث فى اتجاه متعامد على اتجاه انتشار الموجات ، وليس على طولها كما اعتقد هيجنز ، وما الفرق بين الشعاعين العادى وغير العادى داخل بلورة الأيسلاند سبار سوى أن الذبذبة فى الحالة الأولى تتم فى المستوى الذى يمر بالشعاع ومحور البللورة ، أما فى الحالة الثانية فإن الذبذبات تكون متعامدة على هذا المستوى .

وسبب اكتشاف حقيقة أمر ذبذبات موجات الضوء ومعرفة أنها مستعرضة كثيراً من المتاعب للمشتغلين بالفيزياء بعد ذلك . فى واقع الأمر لا توجد الذبذبات المستعرضة إلا فى الأجسام الصلبة التى تقاوم قوى القص والثنى ، ومعنى ذلك أن الأثير الذى يملأ الوجود ، وهو الوسط الذى افترض لحمل الضوء ، لم يكن غازاً مخلخلا إلى أقصى درجات التخلخل كما يصوره هيجنز ، وإنما هو جسم صلب . ولكن إذا كان الأثير الذى يتخلل عالم المادة فى هذا الوجود صلباً ، فكيف إذاً تتحرك الكواكب وسائر أجرام السماء خلاله وتسبح فيه دون أن تصادف أى مقاومة ؟ وحتى إذا افترضنا جدلا أن الأثير العالمى هذا من شئ صلب خفيف جداً سهل التهشم على غرار (الستيروفورم) التى شاع استخدامها اليوم فى ميادين متعددة ، فإن حركة الأجرام السماوية يصبح لها ممرات متعددة خلالها بحيث سرعان ما تفقد ميزة حمل موجات

الضوء عبر مسافات طويلة . ولقد أرهقت هذه المشكلات أجيالا عديدة من علماء الطبيعة حتى أزالها بصفة قاطعة ألبرت أينشتين الذى قذف بالأثير خارج نافذة حجرات تدريس الفيزياء .

كسوف نيوتن

عندما أدرك نيوتن الخمسين من عمره قرر اعتزال الحياة العلمية (الأكاديمية) وراح يبحث عن عمل يدر عليه دخلا أعظم . وعرضت عليه وظيفة ناظر مدرسة تشارتر هاوس* فى لندن ، إلا أنها لم تعجبه ، فكتب خطاباً يرفض فيه الوظيفة ويقول :

« أشكرك لإسناد أمر تشارتر هاوس إلىّ إلا أننى لا أرى فيه ما يغرينى ؛ إذ أنه إلى جانب العربة (التى يتضح أنهم منحوه إياها) التى لا أبالى بها ، يقتصر المبلغ على ٢٠٠ جنيه فى العام ، مع ملازمة هواء لندن، ونوع من الحياة لا أحبه ولا أهواه . وإنى لا أرى كذلك أنه من المستحسن أن أقحم نفسى فى أى سباق للحصول على مركز أعلى » .

وفى عام ١٦٩٦ ، وكان قد بلغ الرابعة والخمسين ، عين أولا مراقباً ، ثم من بعد ذلك رئيساً لدار سك النقود بلندن ، وشرع يجمع المال اسماً وفعلا . وفى عام ١٧٠٥ منح لقب « سير » ، وأصبح السير إسحق ، كما ظفر بكثير من التشريف والتقدير ، إلا أنه خلال ربع القرن الأخير من حياته (مات عام ١٧٢٧ . وقد بلغ الخامسة والثمانين) لم يوفق إلى كشوف ذات بال ، تلك التى كانت تنهمر انهماراً عندما كان أقل من الخامسة والعشرين . ويقول بعض من كتبوا عن حياته إن ذلك يرجع إلى الشيخوخة ، ويقول بعض آخر إنه استنفد كل الآراء الممكنة التى كان يمكن أن يتمخض عنها عصره . وعلى أية حال فقد أتى بما فيه الكفاية .

---

* مدرسة محافظة للسادة الأرستقراطيين البريطانيين (المؤلف) .

الباب الرابع

الحرارة كصورة من صور الطاقة

لعل أول من درس الظواهر الحرارية رجل الكهوف الذى عاش قبل التاريخ وتعلم كيف يبنى لنفسه مواقد توفر له الدفء خلال الفترات التى لا تمده فيها الشمس بالحرارة الكافية . وعملت زميلته التى عاشت معه جنباً إلى جنب – امرأة الكهوف فيما قبل التاريخ – على إماطة اللثام عن أمر هام ؛ فحواه أن ألوان الطعام المختلفة عندما تعرض بعض الوقت للهيب النار ، أو عندما تغلى فى الماء ، تصير أطيب مذاقاً وأشهى طعماً ، كما يسهل هضمها . والإنسان بطبيعته يميز بالغريزة بين (البارد) والحار ، وكذلك الحال مع الأحياء كافة ؛ إذ تسجل درجة حرارة الوسط وترسل إلى المخ بملايين الأعصاب التى تنتهى على سطح الجلد . ولكن استجابة الأعضاء لدرجة الحرارة من الوجهة التشريحية تكون غير سليمة ، ولا يستطيع الرجل المعصوب العينين أن يعرف ما إذا كانت يده أحرقتها قطعة من الحديد المحمر من الحرارة ، أو جمدتها قطعة من الثلج الجاف ، فى كلتا الحالتين تكون الاستجابة واحدة ، لأنها تنجم عن نفس الأثر التشريحى لإتلاف الأنسجة .

المحرار « الترمومترات »*

اخترع أول جهاز علمى حقيقى لقياس درجة الحرارة عام ١٥٩٢ بمعرفة غاليليو، الذى استخدم من أجل ذلك قنينة من الزجاج ذات رقبة ضيقة جداً ، كان يملؤها إلى نصفها بماء ملون ، ثم ينكسها فى حوض مملوء بهذا الماء الملون . فعندما تتغير درجة الحرارة يتمدد الهواء الموجود أو ينكمش ، وبذلك يتحرك عمود الماء الموجود فى رقبتها إلى أسفل أو إلى أعلى . ولم يأبه غاليليو ويهتم بإدخال أو اتخاذ أى تدريج لدرجة الحرارة ، مما يحملنا على تسمية هذا الجهاز باسم (ثيرموسكوب) أو المحرار

* هى أجهزة قياس درجات الحرارة ، واللفظ « ترمومتر » شائع الاستعمال فى البلاد العربية وقد ترجم أخيراً « المحرار » (المترجم) .

بدلا من (ثيرمومتر) أو مقياس درجة الحرارة . وأول من طور محرار غاليليو هو ريي عام ١٦٣١ ، وذلك بقلب قارورة غاليليو رأساً على عقب وتسجيل عمليات التسخين والتبريد بوساطة تمدد الماء .

وفى عام ١٦٣٥ صنع الدوق فرديناد من توسكانيا ، وقد كان مولعاً بالعلوم ، محراراً « ترمومتراً » استخدم فيه الكحول (درجة تجمده أقل من درجة تجمد الماء) بعد أن لحم قمة الأنبوبة ليحول دون تبخر الكحول . وأخيراً ، فى عام ١٦٤٠ ، بنى علماء أكاديمية لنسى بإيطاليا النموذج الأصلى « للترمومتر » الحديث ، مستخدمين الزئبق بعد أن تخلصوا من جانب على الأقل من الهواء الموجود فى الأنبوبة قبل لحمها . ومن الطريف أن نلاحظ أن التطور الكامل « للترمومترات » استغرق نحو نصف قرن ، وهى مدة تعد طويلة إذا ما قورنت بالسنوات القليلة التى فصلت بين اكتشاف الأمواج الكهرومغناطيسية * (الكترو ماجنتك) وبناء أول تلغراف لاسلكى (راديو تلغراف) ، أو اكتشاف انشطار اليورانيوم وإطلاق أول قنبلة ذرية .

قوانين الغازات

بينما كان نيوتن منهمكاً فى كمبردج ومنكباً على دراسات الضوء والجاذبية ، كان إنجليزى آخر هو روبرت بويل يشتغل فى أكسفورد على الخواص الميكانيكية وتضاغط الغازات . وعندما سمع عن اختراع أوتوفون — جيريك الخاص بمضخة الهواء استطاع بويل أن يدخل تحسينات جوهرية على تصميمها ، وبدأ بإجراء سلسلة من التجارب قاس بها حجم الغاز عندما عرضه لحالات مختلفة من الضغط العالى والضغط المنخفض . ونجم عن هذا العمل صياغة ما يعرف اليوم باسم قانون بويل الذى يقول : عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم مقدار معين من أى غاز تناسباً عكسيًّا مع الضغط الواقع عليه — شكل (٤ — ١) — .

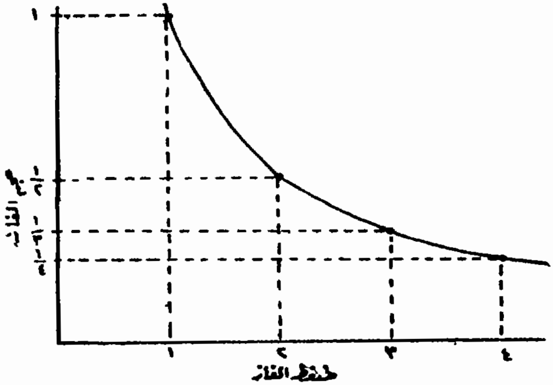
وبعد مضى نحو قرن توصل عالم فرنسى هو جوزيف جاى لوساك ، عندما

* هى أمواج الأثير المختلفة الأطوال والتى تتمثل فى ظواهر الإشعاع كالضوء والحرارة ، أو فى أمواج اللاسلكى والرادار ونحوها (المترجم) .

كان يدرس تمدد الغازات بالتسخين ، إلى قانون آخر هام يقول : يزداد حجم أى غاز يشغل حجماً معيناً بمقدار $\frac{١}{٢٧٣}$ من قيمة حجمه الأصلى كلما ارتفعت درجة الحرارة درجة واحدة (مئوية) . وكان قد توصل إلى نفس هذا القانون عالم آخر فرنسي هو جاك شارل ، وذلك قبل جاى لوساك بسنتين ، ولهذا يعرف عادة باسم (قانون شارل) .

المحرار « الترمومتر » الغازى ودرجة الحرارة المطلقة

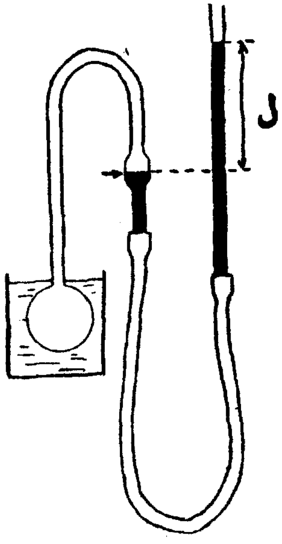
يدل القانونان السابقان على بساطة التركيب الداخلى للغازات ، لأن عمليات التضاغط والتمدد الحرارى للسوائل والأجسام الصلبة تخضع لقوانين أكثر تعقيداً ، وهى تتوقف أساساً على نوع المادة . ولهذا نجد أن بساطة القوانين التى تتحكم فى تصرف الغازات كلها ، بصرف النظر عن خواصها الكيموية ، تجعل من (الثيرموسكوب) الغازى لغاليليو آلة أكثر تعقلا بكثير وأعظم لياقة لقياس درجة الحرارة عن أى جهاز آخر بنى بعد ذلك . فالسوائل المتباينة مثل الماء ، والكحول ، والزئبق وما شاكلها . . . (وكذلك الأجسام الصلبة التى يمكن استخدامها فى بناء أجهزة قياس الحرارة) كلها تتمدد بطرق مختلفة عندما ترتفع درجة الحرارة . وحتى الماء نجده يتقلص بدلا من أن يتمدد عندما ترتفع درجة الحرارة من نقطة



شكل (٤ — ١)

التمثيل البيانى لقانون بويل الخاص بالتناسب العكسى بين حجم الغاز وضغطه

التجمد صاعدة خلال عدة درجات فوقها . وعلى ذلك لو أننا بنينا محرارين « ترمومترين » مستخدمين سائلين مختلفين ، ورسمنا على كل منهما علامتين للدلالة على طول عمود السائل فى الساق عند درجتين مختلفتين من الحرارة (مثل نقطة التجمد ونقطة غليان الماء)* ، ثم قسمنا المسافة المحصورة بين العلامتين إلى عدد من الأقسام أو الدرجات ، أطوالها متساوية (مثل ١٠٠ درجة — فى حالة المقياس المئوى أو السنتجراد) فإن هذين المحرارين (الترمومترين) يعينان درجات من الحرارة مختلفة القيمة إلى حد ما فيما بين نهايتهما** . ولكننا نجد من ناحية أخرى أنه لما كانت كل الغازات تتمدد بطريقة واحدة تماماً عند ما تسخن ، فإنها تمثل مادة قياسية أكثر صلاحية لقياس درجات الحرارة. ونحن عندما نستعمل « الترمومترات » الغازية ، كما فعل غاليليو ، لا يلزمنا أن نقرر : هل الغاز المستعمل هو الهواء العادى ، أو الأيدروجين ، أو الهليوم، أو أى شىء آخر . ويمثل شكل (٤ — ٢)



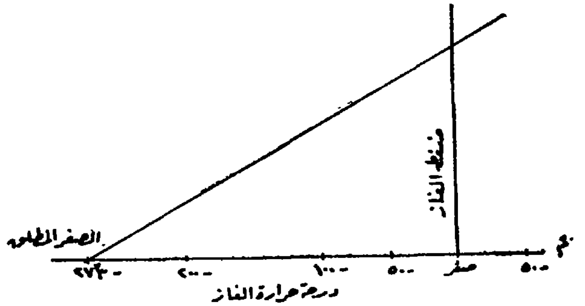
شكل (٤ — ٢)

نظرية الترمومتر الغازى : كلما ارتفعت درجة حرارة السائل فى الوعاء الذى على اليسار ، زاد طول عمود الزئبق ل فى الأنبوبة المتحركة اليمنى ، لكى يبقى مستوى الزئبق فى الأنبوبة الوسطى على ما هو عليه أمام السهم .

* لاحظ أن نقطة التجمد يمكن الحصول عليها عملياً بإحاطة الجهاز بالجليد ، كما أن نقطة الغليان تتوافر حيثما يغلى الماء وينطلق بخاره حراً (المترجم) .

** أى أنهما لا يتحدان إلا فى النهايتين ، وهما نقطة التجمد ونقطة الغليان (المترجم) .

المحرار « الترمومتر » الغازى الحديث ، وهو يعتمد فى عمله على قياس الضغط بدلا من قياس حجم الغاز عند تسخينه . فعندما ترتفع درجة الحرارة يتمدد الغاز ويعمل على ضغط الزئبق الموجود بالزجاجة اليسرى إلى أسفل . ولكن برفع أنبوبة الزجاج اليمنى يمكن إرجاع حجم الغاز إلى قيمته الأصلية ، ثم تقاس درجة الحرارة بفرق الارتفاع ل بين مستوى الزئبق فى الشعبتين . وعندما يتم إعداد المقياس الحرارى هكذا على أساس المحرار « الترمومتر » الغازى ، يمكن تدريج كل « الترمومترات » الأخرى باتخاذ « الترمومتر » الغازى كجهاز قياسى . وعندما نستخدم « الترمومتر » الغازى ، مبتدئين بالضغط الجوى (عندما يكون عمودا الزئبق فى الأنبوبتين على مستوى واحد) ، نجد كما سبق أن ذكرنا ، أن ضغط الغاز يزيد أو ينقص بمقدار $\frac{١}{٢٧٣}$ من قيمته الأصلية عندما ترتفع درجة حرارته أو تنخفض بمقدار درجة واحدة مئوية (= ١° م) . وعلى ذلك فلو أننا بدأنا من درجة الصفر المئوى (نقطة تجمد الماء) وبردنا الغاز إلى درجة ٢٧٣ تحت تلك النقطة ، نجد أنه من المتوقع أن ينخفض ضغط الغاز إلى الصفر ، كما يكون حجمه قد انكمش إلى لا شىء على النحو الممثل فى شكل (٤ — ٣) . وتعرف النقطة التى نفترض حدوث هذه الحالة عندها باسم (درجة حرارة الصفر المطلق) ، كما تعرف درجات الحرارة المقيسة ابتداء من تلك النقطة باسم (الدرجات المطلقة ر = ٢٧٣+د° م) . وبطبيعة الحال لا ينهار حجم الغاز بعملية التبريد إلى نقطة رياضية لا أبعاد لها ، فقبيل الوصول



شكل (٤ — ٣)

يظهر الخط البيانى اعتماد ضغط أى غاز (داخل حيز معلوم) على درجة الحرارة . عند درجة حرارة ٢٧٣° م تحت نقطة تجمد الماء يصير ضغط الغاز لا شىء .

إلى الصفر المطلق تتكاثف الغازات إلى سوائل لا سبيل إلى ضغطها بعد ذلك . ومهما يكن من شيء فإن نقطة الصفر المطلق لدرجة الحرارة تلعب دوراً هاماً فى الفيزياء الحرارية ، باعتبارها درجة الحرارة التى عندها ينهار الغاز إلى نقطة رياضية بفرض أن حجم جزيئات الغاز عندها يصبح صغيراً إلى أقصى حد، كما تنعدم قوى التجاذب ما بين الجزيئات (تتوافر كل حالة منهما إلى حد كبير فى الغازات النادرة مثل الهيليوم والنيون والأرجون . .) .

السيال الحرارى

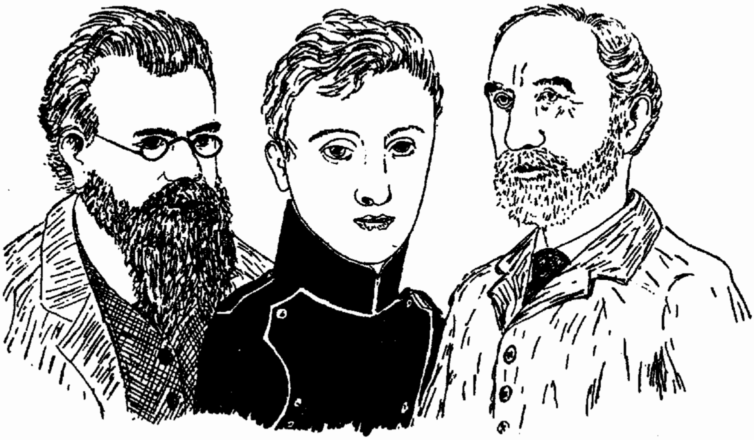
رغم أن الإنسان تحدّث عن الحرارة منذ قبل التاريخ ــ السواد الأعظم فى أراضى الجنوب ، وقدر لا يكفى فى أراضى الشمال ــ فإن أول من تكلم عن الحرارة كشيء له كيانه الطبيعى ــ يمكن قياس كميته كما نقيس كمية الماء أو الكيروسين سواء بسواء ــ هو على الأرجح طبيب أسكتلندى كانت تستهويه الفيزياء والكيمياء ، يقال له چيمس بلاك (١٧٢٨ ــ ١٧٩٩) ، فقد عرض الحرارة أمام الأنظار كسيال خاص لا وزن له . . أطلق عليه اسم « كالور » أو حرارة . ويستطيع هذا السيال أن يتسلل خلال جميع الأجسام المادية ، ومن ثم يزيد من درجة حرارتها . فعندما خلط جالوناً من الماء المغلى مع آخر من الماء البارد كالثلج لاحظ أن درجة حرارة الخليط تكون تماماً فى منتصف الطريق بين الدرجتين الابتدائيتين ، وفسر هذه الحقيقة بقوله إنه بعد المزج يتم توزيع الفائض من الحرارة التى فى الماء الساخن على كل من مقدارى الماء ــ وعرف وحدة الحرارة بأنها المقدار اللازم لرفع درجة حرارة (رطل) من الماء درجة واحدة فهرنهيت* (فى وحداتنا المترية الحديثة نتحدث عن الكالورى أو السعر الحرارى ، وهو مقدار الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية) . ولقد استنتج چيمس بلاك أن الأوزان المتساوية من المواد المختلفة عندما تسخن إلى نفس درجة الحرارة تتضمن مقادير متباينة من الحرارة ، ذلك لأنه من غير شك عندما نخلط وزنين متساويين من الماء الساخن

* هى وحدة درجة الحرارة الإنجليزية ، بفرض أن الماء يتجمد فى درجة ٣٢ فهرنهيت ويغلى فى درجة ٢١٢ فهرنهيت ، أى أن ١٨٠ قسماً من أقسام الفهرنهيت تعادل ١٠٠ قسم مئوى (المترجم) .

والزئبق البارد ، نحصل على درجة حرارة أقرب بكثير الى درجة حرارة الماء الأصلية منها إلى درجة حرارة الزئبق . وعلى ذلك اعتبر عملية التبريد خلال درجة واحدة لكمية معينة من الماء بأنها عملية تطلق كمية من الحرارة أكثر بكثير مما يلزم لرفع درجة حرارة وزن مساو من الزئبق خلال درجة واحدة . ولقد قادته هذه الحقيقة إلى فكرة (السعة الحرارية) للأجسام المختلفة ، وهى التى تتمثل فى مقدار الحرارة اللازمة لرفع درجات حرارتها درجة واحدة . وثمة فكرة أخرى هامة أدخلها بلاك وهى فكرة (الحرارة الكامنة) ، التى هى عبارة عن مقدار الحرارة اللازمة لتحويل الثلج إلى ماء فى درجة حرارة الثلج (كلاهما فى درجة حرارة الصفر) . وكان يعتقد أن إضافة كمية معينة من سيال الحرارة هذا عديم الوزن إلى قطعة من الثلج يحملها على تفككها وتحويلها إلى سائل ، وكذلك بنفس الطريقة عندما تضيف كمية أخرى من الحرارة إلى الماء الساخن فإنها تفكك أوصاله بدرجة أكبر وتحيله إلى بخار .

وعمد رجل فرنسى فى مقتبل العمر ، هو سادى كارنوت — شكل (٤ — ٤) الذى مات عام ١٨٣٢ عن ٣٦ سنة ، إلى جعل الشبه بين الحرارة وأى سيال آخر يمتد إلى مدى أبعد من ذلك. فقد قارن الآلة البخارية التى يتولد فيها الشغل الميكانيكى بوساطة الحرارة المنبعثة من مرجل ساخن بعجلة مائية يتولد فيها الشغل بوساطة الماء المتساقط من مستوى مرتفع . ولقد قاده هذا الشبه إلى استنتاج أنه كما فى حالة العجلة المائية ، التى يتناسب فيها مقدار الشغل الناجم عن تساقط كمية معينة من الماء تناسباً طردياً مع فرق مستوى الماء فوق العجلة ومن تحتها ، فكذلك يكون مقدار الطاقة الميكانيكية التى يمكن توليدها بآلة بخارية متناسباً تناسباً طردياً مع فرق درجة الحرارة بين المرجل الذى يتولد فيه البخار ومركز التبريد الذى يتم فيه تكثيفه . وكان يعتقد على أية حال ، أنه تماماً كما فى حالة العجلة المائية ، تكون كمية الحرارة المنبعثة إلى مركز التبريد مساوية لكمية الحرارة المأخوذة من المرجل ، كما أن الشغل الميكانيكى يبذل نظراً لأن قدراً معيناً من الحرارة « يتساقط » من مستوى درجة الحرارة العالية إلى منطقة درجة الحرارة المنخفضة. ونحن نعرف الآن أن هذا الفرض ليس سليماً ، لأن الآلات البخارية تعمل على تحويل بعض الحرارة السارية فيها إلى طاقة ميكانيكية ، وأن كمية الحرارة التى تصل إلى مصدر التبريد هى أقل من كمية الحرارة

المتولدة بمقدار يعادل قيمة الحرارة التى تحولت إلى طاقة شغل .



شكل (٤ – ٤)

هؤلاء هم الذين وضعوا أساس النظرية الحديثة للحرارة : لدفج بولتزمان (إلى اليسار) ، سادى كارنوت (فى الوسط) . جوزيا جبز (إلى اليمين) .

وأول من فكر فى أن الحرارة هى نوع من الحركة الداخلية للجسم المادى ، وليست مادة معينة كما تصورها بلاك وغيره ، ضابط محترف دعم رأيه بتجارب أجريت فى مصنع للبنادق . وكان هذا الضابط يدعى بنيامين تومسون ، من مواليد ماساشوستس الذين اشتركوا أيام صباهم فى الحرب الثورية ، وقد رحل بعد ذلك إلى إنجلترا كمواطن بريطانى ، وسرعان ما أصبح وكيلا لوزارة المستعمرات ، ثم انتقل إلى بفاريا وزيرا للحربية ، ومنح لقب الكونت رمفورد لإعادته تنظيم الجيش الألمانى . ولقد كان مهتمًّا اهتماماً عظيماً بالمسائل العلمية ، وعلى الأخص بأصل الحرارة وكنهها .. خلال ذلك النشاط الحربى مباشرة ، ولم يكن مقتنعاً بالرأى المعاصر الذى كان يقول إن الحرارة هى مادة معينة تختلف عن جميع المواد الكيميائية الأخرى ، وفى مقدورها الاتحاد بالثلج لتعطى الماء السائل (ثلج + حرارة = ماء) ، كما أنها تنطلق فى عمليات الاحتراق المختلفة . ويرجع السبب فى شكوكه وعدم اقتناعه بهذا الرأى إلى حقيقة أن الحرارة إنما تنتج عن لا شىء — فى حالات الاحتكاك التى يبدو أن ليس لها أى دخل بالتحولات الكيموية . ولما شاهد عمليات ثقب المدافع فى

مصانع الذخيرة « بميونخ » ، احتار فى معرفة السبب الذى يجعل جسم المدفع يبلغ تلك الدرجة من السخونة ، خصوصاً عندما تكون آلة الثقب كليلة غير حادة . وفكر فى إمكان تضمن الأجسام المادية سعة أكبر للسيال الحرارى عندما تكون فى حيز صلب واحد عن السعة التى تتضمنها عندما تنقسم إلى جسيمات صغيرة ، مما قد يفسر لنا انطلاق الحرارة فى أثناء حفر مواسير المدافع ، حيث تتكون كمية وفيرة من برادة معدن المدافع . ولقد عمد إلى قياس السعة الحرارية لقطعة صلبة من المعدن ، والسعة الحرارية لوزن مساو لها من نفس المعدن فوجد أنه لا خلاف بينهما ، وكذلك حاول أن يقارن بين أوزان الأجسام الساخنة وأوزانها وهى باردة لعله يميط اللثام عن وزن سيال الحرارة المتسرب ، إلا أنه لم يصل إلى نتيجة ما .

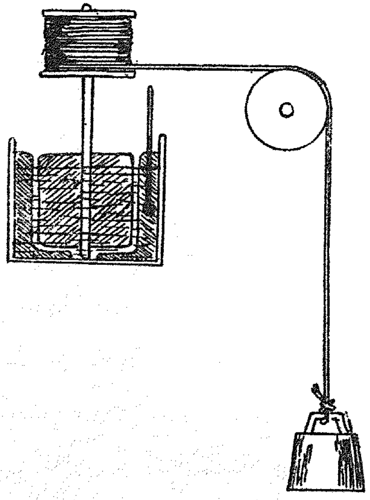
وتبعاً للأرقام التى أوردها رمفورد فى مقاله الذى نشره فى (لندن فيلوسوفيكال ترانساكشنز London Philosophical Transactions عام ١٧٩٩) لا يمكن أن يزن السعر أكثر من ١٣ ٠,٠٠٠٠ ملليجرام . ونحن نعرف الآن أن أى صورة من صور الطاقة لها كتلة غاية فى الصغر ، يمكن تعيينها بعلاقة أينشتين الشهيرة ، عن طريق قسمة الطاقة على مربع سرعة الضوء * . وعلى ذلك فإن وزن السعر الحرارى هو ٠,٠٠٠٠٠٠٠٠٠٤ ملليجرام ، وهو رقم أقل بكثير عن مدى دقة أى جهاز يستخدم لقياس الوزن . وكانت نتيجة كل هذا أن قرر أن الحرارة لا يمكن أن تكون صورة من صور المادة العادية ولابد أنها نوع من الحركة ، فنجده يقول : « ما هى الحرارة ؟ إنها لا يمكن أن تكون جسماً مادياً ، ويلوح أنه من الصعب علىّ ، إذا لم يكن من المستحيل تماماً ، أن أتصور الحرارة فى صورة أى شىء غير ذلك الذى تستمده باستمرار قطعة المعدن فى هذه التجربة (تجربة ثقب المدافع) ، وهى الحركة التى تتبع ظهور الحرارة » .

المكافئ الميكانيكى للحرارة

ولقد تطورت أفكار الكونت رمفورد بعد ذلك بعشرات السنين على يد طبيب ألمانى يدعى يوليوس روبرت ماير فى مقاله : « ملاحظات على قوى الطبيعة غير

* لاحظ أن سرعة الضوء هى ٣ × ١٠^١٠ سنتيمتر فى الثانية (المترجم) .

الحية » . . الذى نشره عام ١٨٤٢ . ولقد أجرى ماير هذا تجربة فى معمل للورق، حيث كانت العجينة الموضوعة داخل (قزان) ضخم تحرك أو تقلب بطريقة تستمد فيها القوة المحركة عن حصان يلف فى دائرة . فعندما قاس درجة حرارة العجينة حصل على رقم يدل على قيمة الحرارة المتولدة عن قدر معين من الشغل الميكانيكى الذى يبذله الحصان . وعلى أية حال فإنه نظراً لكثرة مشاغله الطبية لم يتابع السير فى هذا السبيل أكثر من ذلك ، كأن يعمد مثلا إلى إجراء تجارب أكثر دقة وعناية . والذى نال شرف قياس المكافئ الميكانيكى للحرارة قياساً سليماً رجل إنجليزى هو چيمس برسكوت جول . ولقد استخدم جول فى تجربته هذه جهازاً يبين شكل (٤ — ٥) أهم ما فيه من أجزاء وهى : وعاء مملوء بالماء ويحتوى على محور قابل للدوران تتصل به عدة بدالات . ويحال دون تمكين الماء الذى بالوعاء من أن يدور دوراناً حراً طليقاً مع هذه البدالات بوساطة دوارات خاصة متصلة بجدران الوعاء ، مما يزيد من قيمة المقاومة الداخلية . وأدير المحور وما يتصل به من بدالات بوساطة ثقل معلق



شكل (٤ — ٥)

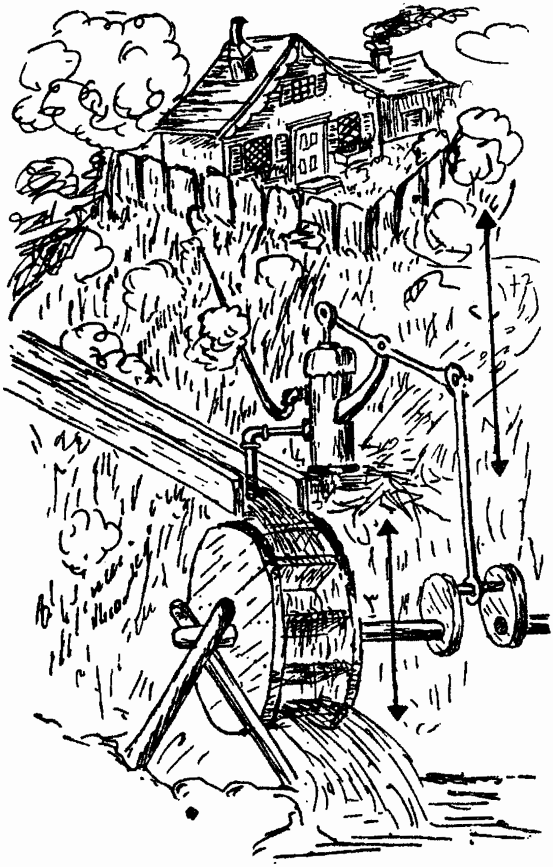
تجربة جول لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى حرارة. يعمل الوزن فى أثناء تساقطه على إدارة بدالات فى وعاء (مسعر) مملوء بالماء ، فترتفع درجة حرارة الماء بالاحتكاك الداخلى . وبمقارنة الشغل المبذول بوساطة الثقل الهابط مع الزيادة فى الحرارة التى يدخرها الماء ، حصل جول على قيمة المكافئ الميكانيكى للحرارة .

بخيط يمر على بكرة ، بحيث يتحول الشغل الذى يبذله الثقل فى أثناء هبوطه إلى حرارة بالاحتكاك تنتقل إلى الماء . وبمعرفة مقدار الماء الموجود بالوعاء ، وقياس مدى الارتفاع فى درجة الحرارة ، استطاع جول أن يحسب القدر الكلى للحرارة المتولدة . ومن ناحية أخرى نجد أن حاصل ضرب الوزن المسبب للحركة فى المسافة التى يهبطها يعطينا قيمة الشغل الميكانيكى المبذول . وقد استطاع جول ، عن طريق إعادة إجراء التجربة مرات عديدة ، وتحت ظروف متباينة ، أن يتوصل إلى وجود تناسب طردى مباشر بين الشغل المبذول والحرارة المتولدة . وفى عام ١٨٤٣ أعلن هذه النتيجة فكتب يقول : إن الشغل الذى يبذله ثقل قدره رطل واحد خلال مسافة قدرها ٧٧٢ قدماً فى « منشستر » يمكنه ، عندما يستغل فى توليد الحرارة بوساطة احتكاك الماء ، أن يرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء بمقدار درجة واحدة « فهرنهيت ». وهذا هو الرقم الذى ، سواء عبر عنه بهذه الوحدة أو بغيرها من الوحدات ، يستخدمه اليوم العالم بأسره كلما تطلب الأمر تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكى ، والعكس بالعكس .

الديناميكا الحرارية

عندما توصل البشر إلى معرفة العلاقة التى تربط بين المكافىء الحرارى والطاقة الميكانيكية ، تلك العلاقة التى تعرف اليوم باسم (القانون الأول للديناميكا الحرارية) ، على أساس قويم سليم ، حان الوقت الذى يتوسع فيه الناس فى أعمال سادى كارنوت الخاصة بقوانين أو تحول أى صورة من صور الطاقة إلى صورة أخرى . ولقد ظهر عمل الرواد فى هذا المضمار خلال النصف الثانى من القرن الماضى ، على يد عالم الفيزياء الألمانى رودلف كلاوزيس ، وكذلك عالم الفيزياء البريطانى لورد كلفن . ونحن نعرف من خبرتنا اليومية أن الحرارة تسرى دائماً من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة ، ولا يحدث العكس بتاتاً . ونحن نعرف كذلك أن الطاقة الميكانيكية يمكن أن تتحول كلها الى حرارة ، عن طريق الاحتكاك مثلا ، على حين يمثل التحول الكلى للحرارة إلى طاقة ميكانيكية عملية مستحيلة من الوجهة الطبيعية . وكما قرر سادى كارنوت ؛ ليس من شك فى أن إنتاج أو تولد الشغل الميكانيكى يصحبه «هبوط»

قدر معين من الحرارة من مستوى مرتفع لدرجة الحرارة إلى مستوى آخر منخفض . وبينما اعتقد كارنوت (خطأ) أن الحرارة تبقى كاملة على حالها فى أثناء انتقالها من المرجل إلى مركز التبريد، يقول القانون الأول للديناميكا بأن جانباً منها يفقد ، ويظهر القدر المكافئ له على هيئة شغل ميكانيكى تبذله الآلة . ويحكى هذا الوضع حالة البيت المقام على تل ، والذى يحصل على ما يلزمه من الماء من جدول يجرى من تحته ، وبدلا من إدارة المضخة بمحرك كهربائى ، يقرر سكان البيت تشغيل المضخة بوساطة عجلة مائية تستمد قوتها الدافعة من نفس الجدول المائى على النحو الممثل فى شكل (٥ — ٦) . وعلى ذلك نجد أنه بينما يتساقط بعض ماء الجدول



شكل (٤ — ٦)

تشابه (هيدروديناميكى) بين الآلة الحرارية التى تحول جزءاً من الحرارة (السارية من المنطقة المرتفعة الحرارة إلى المنطقة المنخفضة الحرارة) إلى طاقة ميكانيكية .

وهو فى طريقه إلى البيت ليدير العجلة ، يتم رفع البعض الآخر أعلى التل ليستقر فى البيت.

ومن الجلى والواضح أنه ليس فى الإمكان نزح جميع ماء الجدول ، وإلا ما بقى فيه ماء يستخدم فى تشغيل المضخة . والشغل الناجم عن الماء المتساقط على العجلة ، أو الشغل اللازم لحمل هذا الماء ورفعه إلى مستوى تساقطه ، يساوى حاصل ضرب مقدار الماء فى الارتفاع . وعلى ذلك فخير ما نفعل هو أن نرتب أمورنا بحيث يكاد الماء المتبقى فى الجدول يكفى تماماً لنزح الجزء الآخر إلى البيت . فإذا كان مثلا ارتفاع الخزان ثلاث أقدام ، وارتفاع البيت ١٢ قدماً فوق مستوى المضخة ، وكانت س هى جزء الماء الذى ينزح إلى البيت فإن : ١٢ س = ٣ (١ — س) ومنها ينتج أن : س = $\frac{٣}{٣+١٢}$ = $\frac{١}{٥}$

وعلى ذلك فإن مثل هذا الوضع لا يعين على نزح أكثر من خمس الماء إلى البيت . وسوف نرى فيما بعد فى حالة الحرارة التى تسرى من منطقة ساخنة إلى أخرى باردة ، على حين يتحول جانب منها إلى شغل ميكانيكى ، يكون الجزء من الحرارة الذى يمكن أن يتحول إلى شغل مساوياً الكسر :

$$\frac{ر_١ - ر_٢}{ر_١}$$

حيث $ر_١$ ، $ر_٢$ ، هما على الترتيب درجة الحرارة المطلقة للمرجل والمكثف . ولما كانت درجة غليان الماء هى ١٠٠° م ، أو ٣٧٣° مطلقة ، نجد أنه إذا كان المكثف يبرد بالثلج تكون درجة حرارته صفراً °م أو ٢٧٣° مطلقة ، وعلى ذلك تكون أكبر قيمة لكفاية* الآلة البخارية هى : $\frac{١٠٠}{٣٧٣}$ = ٢٦ ٪ ، وفى الواقع ، نظراً لما يفقد من جوانب الآلة من حرارات ، وكذلك لأسباب عملية أخرى ، نجد أن درجة نجاح الآلة البخارية أو كفايتها أقل من ذلك .

وتعرف العبارة القائلة بأنه : (ليس فى الإمكان تحويل الحرارة إلى طاقة ميكانيكية من غير أن يكون لدينا فائض أو مزيد من الحرارة « الهابطة » من مكان ساخن إلى آخر بارد) ، وتشتهر باسم « القانون الثانى للديناميكا الحرارية » . ولا يختلف منطوقه هذا فى معناه عن قولنا : (لن تسرى الحرارة من تلقاء نفسها من

* لكل آلة كفاية تمثلها بالنسبة بين ما تنجح فى إنتاجه من شغل مفيد وما تتطلبه من طاقة حرارية أو كهربية إلخ .. لتؤدى وظيفتها . ولهذا يمكن التعبير عن الكفاية كذلك باسم درجة النجاح . (المترجم)

مكان بارد إلى آخر ساخن) . والحق يقال لو أننا استطعنا إقناع الحرارة لتسرى من تلقاء نفسها من مركز التبريد إلى المرجل لحصلنا على دورة حرارية أشبه ما تكون بالحلقة المفرغة ، وعلى ذلك تعمل الآلات البخارية من غير وقود . وتمثل العملية الميكانيكية الشبيهة بهذه الحالة بالماء الذى يصعد الجبل من تلقاء نفسه ، لينحدر منصباً فوق عجلة طاحونة الماء .

وعندما عولجت الديناميكا الحرارية رياضيًّا أدخلت فكرة درجة التعادل* ، ويرمز لها عادة بالحرف s ، حيث تعرف بأنها خارجة قسمة كمية الحرارة التى يكتسبها أو يفقدها الجسم على درجة حرارة هذا الجسم بالتقدير المطلق . ونحن عندما نستعمل فكرة درجة التعادل هذه نستطيع أن نصوغ القانون الثانى للديناميكا الحرارية السابق ذكره بقولنا : « لا سبيل لدرجة تعادل أى جهاز معزول — أى جهاز لا يتصل بالوسط المحيط به اتصالا حراريًّا أو ميكانيكيًّا — إلا إلى الزيادة أو البقاء ثابتة على ما هى عليه » . فإذا وضعنا مثلا مكعباً من الثلج داخل كوب من الماء الدافئ ، فهل يمكن للحرارة أن تسرى من الثلج إلى الماء ، ومن ثم يعمل سريانها هذا على تبريد مكعب الثلج كثيراً تحت درجة الصفر المئوى ويسخن الماء إلى درجة الغليان ؟ إن القانون الثانى للديناميكا الحرارية يقرر عدم إمكان حدوث مثل هذه الحالة ، وإلا فإن درجة تعادل الجهاز المكون من الماء ومكعب الثلج تتناقص ، وهو أمر ينفى إمكان حدوثه هذا القانون .

وللتدليل على ذلك نفرض أن $ر_{١}$ هى درجة الحرارة المطلقة للماء الدافئ ، و$ر_{٢}$ هى درجة حرارة مكعب الثلج ، وعلى ذلك تكون $ر_{١}$ أكبر من $ر_{٢}$. فإذا كانت كمية معينة من الحرارة مثل س سعر تسرى تلقائيًّا من مكعب الثلج إلى الماء الدافئ من حوله ، فإن معنى ذلك أن الماء يكتسب حرارة قدرها + س سعر ، ويكون التغير فى درجة تعادل الماء حسب تعريفنا هو :

$$\triangle ء_{١} = + \frac{س}{ر_{١}} \quad \text{------} \quad (١)$$

* هى بمثابة مقياس الترتيب لدى رجل الفيزياء ، أما بالنسبة لعالم الرياضة فهى مجرد تعبير يسهل عليه حل معادلاته الرياضية (المترجم) .

كما أن مكعب الثلج يفقد كمية من الحرارة قدرها س سعر ، أى إنه تصله كمية من الحرارة تساوى — س سعر ، وبذلك يكون التغير فى درجة تعادل مكعب الثلج حسب التعريف هو :

$$\Delta S_{٢} = -\frac{س}{ر_{٢}} \quad ----- \quad (٢)$$

ومن المعادلتين رقم (١) ، (٢) نجد أن التغير الكلى فى درجة تعادل الجهاز المكون من الماء ومكعب الثلج هو :

$$\Delta S_{١} + \Delta S_{٢} = \frac{س}{ر_{١}} - \frac{س}{ر_{٢}}$$

$$= س \left(\frac{١}{ر_{١}} - \frac{١}{ر_{٢}} \right) \quad ---- \quad (٣)$$

ولما كانت $ر_{١}$ أكبر من $ر_{٢}$ فإنه من الطبيعى أن تكون $\frac{١}{ر_{١}}$ أصغر من $\frac{١}{ر_{٢}}$ ،ومن ثم تكون قيمة القوس فى المعادلة رقم (٣) سالبة . ومعنى ذلك أن سريان الحرارة ومن مكعب الثلج إلى الماء إنما يعنى تناقص درجة تعادل الجهاز ، وهذا ينافى منطوق القانون الثانى للديناميكا الحرارية . أما إذا كانت الحرارة تسرى من الماء الدافىء إلى الثلج فإن ذلك يعنى تغيير علامات قيم الحدود الواردة فى المعادلات السابقة ، ومن ثم يصبح التغير فى درجة التعادل موجباً ، وتتفق العملية فى هذه الحالة مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية . وبطبيعة الحال يسرى هذا النظام أو الترتيب على (الأجهزة المعزولة) فقط ، وهى كما قلنا تلك الأجهزة التى لا سبيل إلى وصول أى طاقة إليها من الخارج . أما فى الأجهزة التى على غرار ثلاجة المطبخ ، أو نافذة مكيف الهواء ، فإن الحرارة إنما تنزح نزحاً من (بيت الثلج) ، أو من الغرفة إلى الهواء الخارجى المرتفع الحرارة نسبياً . وفى مثل هذه الحالات يعوض النقص فى درجة التعادل بالشغل الذى يبذله التيار الكهربى الذى يدير محركات هذه الأجهزة .

ويسمح لنا قانون تزايد درجة التعادل كذلك أن نستنتج بطريقة سهلة قيمة كفاية أى آلة حرارية كما ذكرناها سابقاً . فإذا كانت درجة حرارة المرجل هى $ر_{١}$ ،

ودرجة حرارة جهاز التبريد هى $ر_{٢}$ ، وافترضنا أن كمية من الحرارة $س_{١}$ أخذت من المرجل ، فإن جهاز التبريد سوف تصله كمية من الحرارة أصغر من $س_{١}$ ، ولتكن هى $س_{٢}$ ، حيث إن قيمة ($س_{١} - س_{٢}$) هى مقدار الحرارة التى تحولت إلى طاقة ميكانيكية . وعلى ذلك فإن درجة تعادل المرجل تتناقص بالقدر $\frac{س_{١}}{ر_{١}}$ ، فى حين تتزايد درجة تعادل جهاز التبريد بالقدر $\frac{س_{٢}}{ر_{٢}}$. وبما أنه من الضرورى أن تكون زيادة درجة تعادل جهاز التبريد أكبر أو على الأقل مساوية للنقص فى درجة تعادل المرجل ، فيمكننا أن نقول :

$$\frac{س_{١}}{ر_{١}} \text{ أصغر من أو مساوٍ لـ } \frac{س_{٢}}{ر_{٢}}$$

وينتج أن : $\frac{س_{١}}{س_{٢}}$ أصغر من أو مساوٍ لـ $\frac{ر_{١}}{ر_{٢}}$

أو أن $\frac{س_{٢}}{س_{١}}$ أكبر من أو مساوٍ لـ $\frac{ر_{٢}}{ر_{١}}$

ومن ثم يمكننا أن نستنتج باستخدام قواعد الجبر البسيطة أن :

$$\frac{س_{١} - س_{٢}}{س_{١}} \text{ أصغر أو مساوٍ لـ } \frac{ر_{١} - ر_{٢}}{ر_{١}}$$

وهى المعادلة أو القاعدة التى صغناها سابقاً .

الطيور المنقرة

من (الاختراعات) أو الحيل اليابانية الماهرة التى تعمل بمبدأ الآلات الحرارية الطيور اليابانية المنقرة — شكل (٤ — ٧) . وقوام الواحدة منها أسطوانة من الزجاج مفرغة من الهواء ، تتكون من كرتين متصلتين بأنبوبة طويلة . ويوجد بداخل الكرة السفلى كمية من الأثير يمكن أن تتبخر سريعاً فى درجة حرارة الغرفة . وعندما تمتلىء هذه الكرة بأبخرة الأثير لا تجد هذه الأبخرة مناصاً من الصعود إلى الكرة العليا

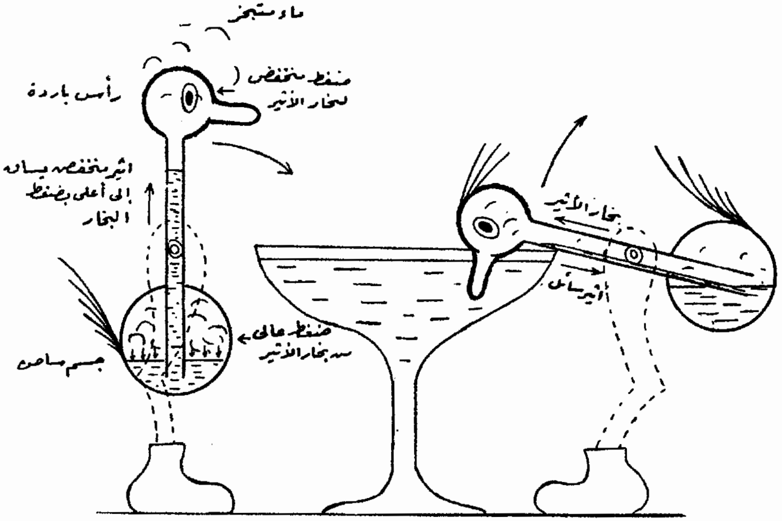
المنخفضة الحرارة نسبياً ، ما دمنا نعمل على أن تكون الطبقة المنداة بالماء التى تغطيها مبتلة * . دائماً . ويتجمع الأثير المتكاثف فى الجزء الأسفل للكرة العليا ؛ إذ يحول دون تسربه إلى أسفل امتداد الأنبوبة الموصلة بين الكرتين إلى مركز الكرة العليا . وعندما تتجمع كمية من الأثير كافية لجعل ثقل الرأس أكبر من ثقل جسم الطائر ، يميل هذا الأخير إلى الأمام حول المحور حتى يأخذ وضعاً أفقياً تقريباً ، وبذلك يسمح للأثير المتجمع فى الرأس بالعودة إلى الكرة التى تمثل الجسم ، وعندها ينتصب الطائر واقفاً من جديد . وفى كل مرة ينحنى فيها الطائر ينغمس أنفه فى الماء وبذلك يظل رأسه منخفض الحرارة على الدوام .

وإذا ما عمدنا إلى ملء الكوب « بالفودكا » ، أو بالكحول الخالص وهو خير ما نستعمل بدلا من الماء ، يعظم تبريد الرأس وبذلك ينقر الطائر بمعدل أكبر . أما إذا ما عمدنا إلى تغطيته داخل قبة زجاجية فإنه سرعان ما يتشبع الهواء الذى يلازم الطائر تحت هذه القبة وتقف الحركة تماماً . وكذلك يقل نشاط عمل هذه الطيور عندما ترتفع رطوبة الجو . والحق أن مؤلف هذا الكتاب لم يتمكن من حملها على العمل قط خلال يوم من أيام الحر المثالية فى واشنطن .

وبمناسبة هذه اللعبة التى تؤدى عملها عن طريق تبخر الماء ، يمكننا أن نوجه سؤالا فيزيائياً طريفاً : إذا نحن عمدنا إلى تثبيت نوع من أنواع التركيب الميكانيكى للتروس فى المحور الذى يميل حوله الطائر ، ليكون فى مقدورنا الحصول على قدر من الطاقة الميكانيكية ، نديرها بها مضخة مائية ترفع لنا الماء من أسفل (سطح البحر) إلى أعلى الكوب ، فما هو الارتفاع فوق سطح البحر الذى يمكن أن نضع عنده الطائر بحيث يظل يؤدى عمله ؟ فى إمكاننا أن نعتبر اللعبة بمثابة الآلة الحرارية التى تسرى فيها الحرارة من جسم الطائر الدافىء إلى رأسه المنخفض الحرارة نسبياً ، فى حين يتحول جانب منها إلى طاقة ميكانيكية . وتعادل الحرارة الكامنة لبخر الماء (الذى يتصاعد من رأس الطائر المنخفض الحرارة نسبياً) ٥٣٩ سعراً لكل جرام واحد ، أو ما يعدل ٢ × ٢٧ × ١٠^١٠ إرج طاقة ميكانيكية . وبطبيعة الحال

* عند ما يتبخر الماء من أى سطح مبلل أو مندى بالماء ، يستنفد البخار جانباً من حرارة السطح ، فتنخفض درجة حرارته . وهذا هو عين ما يحدث فى الأوانى الفخارية ، أو عند رش الأرض بالمياه فى الصيف . (المترجم)

لابد أن يمثل هذا الرقم كذلك كمية الحرارة التى تسرى من الهواء الساخن نسبيًّا إلى جسم الطائر ، كلما تبخر جرام واحد من الماء من على رأسه (وذلك نظراً لانعدام تراكم الحرارة أو فقدها باستمرار من الطائر ، فهو لا ترتفع درجة حرارته ولا تنخفض بصفة دائمة) . ونحن نعرف أن كفاية الآلة الحرارية أو درجة نجاحها فى تحويل الحرارة إلى طاقة ميكانيكية هى $\frac{ر_1 - ر_2}{ر_1}$ ، وفى حالتنا هذه نجد أن كلا من $ر_1$ و $ر_2$ يساوى ٣٠٠° ، مطلقة على التقريب (وهى درجة حرارة الغرفة) ، كما أن الفرق بينهما ($ر_1 - ر_2$) لا يتعدى درجات معدودات . فإذا ما افترضنا أن هذا الفرق يساوى مثلا ٣°م ، وجدنا أن كفاية الطائر تساوى على وجه التقريب ١ ٪ . ومعنى ذلك أن عمليـــة تبخير جرام واحـــد من الماء من على رأس الطائر



شكل (٤ — ٧)

الطيور اليابانية المنقرة

يمكن أن تمدنا بطاقة ميكانيكيـــة تساوى نحو ٢ × ١٠^٨ إرج . ولكن لكى نرفع جراماً واحداً من الماء خلال مسافة قدرها سنتيمتر واحد ، يجدر بنا أن نبذل قدراً من الشغل يعادل عجلة الجاذبية ، وهى تساوى على وجه التقريب ١٠٠٠ (أو ٩٨١ سنتيمتراً فى الثانية لكل ثانية) . وإذاً فإنه عندما يتم تبخر جرام واحد من الماء

من على رأس الطائر تتوافر لنا كمية من الطاقة الميكانيكية تكفى لرفع جرام واحد من الماء من مستوى سطح البحر إلى ارتفاع نحو ٢ × ١٠^٥ سنتيمترات ، أو نحو كيلومترين . ولا يفوتنا بطبيعة الحال أن حسابنا هذا مقرب جداً ، كما أن هناك مصادر عديدة تفقد منها الطاقة الحرارية ، مما يؤدى إلى نقص كبير فى قيمة هذا الرقم ، ولكن هذا لا يحول دون بقاء الحقيقة الواقعة وهى أن الطيور المنقرة تستطيع أن تشرب من ماء البحر وهى واقفة على ارتفاعات كبيرة .

آلات الحركة المستديمة من النوعين الأول والثانى

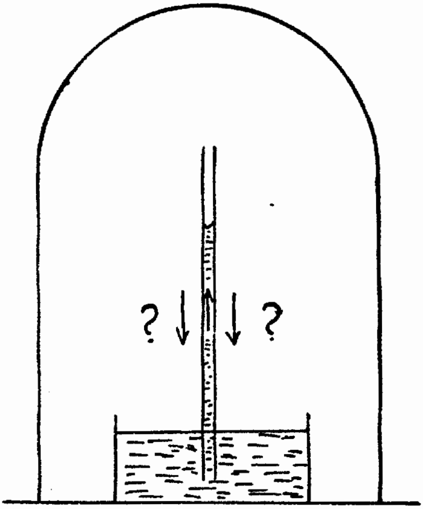
قديماً كان الناس يحلمون بآلات تعمل بلا انقطاع أبد الدهر ، من غير وقود ولا مصدر خارجى للطاقة . وكثيراً ما استخدمت سلسلة ستيفينس المشروحة فى الباب الثانى كنوع من التصميم الذى يجوز الأخذ به فى بناء مثل تلك الآلة ، وذلك قبل أن يبين ستيفينس هذا استحالة عملها إذا ما استخدمنا القوانين السليمة للتوازن الميكانيكى على المستوى المائل .

وبينما تناقض آلة الحركة المستديمة التى من النوع الأول منطوق القانون الأول للديناميكا الحرارية ، أو قانون بقاء الطاقة ، نستطيع أن نلمس أن آلة الحركة المستديمة التى من النوع الثانى إنما تناقض بدورها القانون الثانى للديناميكا الحرارية . وليس من شك أننا لو استطعنا أن نحول الحرارة كاملة (١٠٠ ٪) إلى طاقة ميكانيكية ، لصارت للآلات الميكانيكية اليد العليا على جميع مشروعات الطاقة الذرية التى تعلى الإعلانات من شأنها وتعطيها أهمية عظمى ، ولأصبح فى مقدورنا بناء السفن عابرة المحيط ، التى تنزح إليها ماء البحر لتستخرج منه الحرارة اللازمة لإدارة آلاتها ، ثم تقذف على ظهرها مكعبات الثلج الناجمة عن هذه العملية ، ولأصبح فى مستطاعنا كذلك بناء محركات للسيارات وللطائرات تمتص داخلها الهواء الجوى لتسلبه حرارته وتحولها إلى قوة محركة وتقذف خارجها أهوية فى برودة الثلج ، تنبثق من أنابيب العادم ، ولصار فى متناول أيدينا أن . . .

ولكن جميع هذه الاحتمالات البراقة غير ممكنة ، ويحول دون تحقيقها القانون الثانى للديناميكا الحرارية ، أو قانون درجة التعادل المتزايدة إلى الأبد .

الجدل بالديناميكا الحرارية

بمجرد أن نسلم بصحة قوانين الديناميكا الحرارية ، يمكننا استخدامها فى مناقشة ظواهر طبيعيةعديدة ، وبرهنة الكثير من العبارات الهامة المتعلقة بها . لنأخذ مثلا حالة وعاء به ماء ، عندما تخترق سطح الماء أنبوبة شعرية مثبتة فى وضع رأسى على النحو الممثل فى شكل (٤ — ٨) . ويمكن من أجل عزل هذا الجهاز عن الوسط المحيط به ، أن نغطيه بغطاء زجاجى ، ثم ننزح منه الهواء (نفرغه) . ومن المعلوم أن الماء يرتفع فى الأنبوبة الشعرية ، مكوناً سطحاً مقعراً هلالى الشكل .



شكل (٤ — ٨)

مثال للجدل بالديناميكا الحرارية . إذا كان ضغط بخار الماء فوق السطح المقعر الهلالى الشكل داخل الأنبوبة الشعرية مساوياً لضغط بخار الماء فوق السطح المستوى لماء الوعاء ، صار الماء فى حالة حركة مستديمة فى الاتجاهات التى توضحها الأسهم .

والآن لنسأل أنفسنا عن الذى يحدث فى مثل هذه الحالة ؛ فأولا وقبل كل شىء يتحول جزء من ماء الوعاء إلى بخار يملأ فراغ الغطاء من الداخل . وتحت تأثير الجاذبية ، تكون كثافة البخار وضغطه أكبر ما يمكن عند القاعدة ، كما تبلغ أقل قيم لها فى القمة ، وذلك على غرار جو الأرض سواء بسواء . ونحن نعلم أنه لكل

درجة حرارة قدر معين من ضغط بخار الماء يحدث معه (التوازن) * مع السائل ، فإذا ما كان ضغط البخار عالياً أكثر من اللازم ، فإن جانباً من هذا البخار يتكاثف إلى ماء سائل . أما إذا كان ضغط البخار أقل من اللازم فإن جانباً من السائل يتبخر ويتحول إلى بخار . وسوف نبرهن الآن على أنه يلزم أن يكون ضغط البخار فوق السطح المقعر للسائل فى الأنبوبة الشعرية أصغر من الضغط فوق السطح المستوى، مستخدمين فى سبيل ذلك طريقة الجدل الديناميكى الحرارى : لنفترض جدلا أن العبارة السابقة ليست صحيحة ، وأن ضغط بخار الماء لا يتوقف بحال من الأحوال على انحناء سطح السائل . فماذا يحدث فى مثل هذه الحالة إذاً ؟

بما أنه تحت تأثير جذب الأرض يكون ضغط بخار الماء عند السطح العلوى الهلالى الشكل أصغر من قيمته عند سطح الماء الذى فى الوعاء (السفلى) ، فإن الماء سوف يتبخر فى داخل الأنبوبة الشعرية ويتكاثف فى الوعاء . وينجم عن ذلك أن يسرى الماء إلى أعلى فى الأنبوبة الشعرية ، وأن تستمر هذه الحركة دون توقف . ويكون فى وسعنا إذاً أن نضع فى داخل الأنبوبة الشعرية نوعاً من طاحونة الماء لتعمل باستمرار ، مما ينافى منطوق القانون الثانى للديناميكا الحرارية . وبما أنه لا سبيل للتعارض مع هذا القانون ، فإننا نستنتج أن ضغط البخار فوق السطح المقعر لأى سائل يكون أقل من ضغط البخار فوق السطح المستوى للسائل . وكذلك عندما نستخدم أنبوبة شعرية مغطاة بطبقة رقيقة من الشمع ، (يكون السطح الهلالى الشكل تحت مستوى سطح ماء الوعاء ، كما يكون محدباً إلى أعلى) نستنتج أن ضغط البخار فوق السطح المحدب لأى سائل يكون أكبر من ضغط البخار فوق سطح السائل المستوى . وكلما ازداد ضيق الأنبوبة الشعرية ، عظم فرق مستوى الماء ، أو ارتفاعه داخل الأنبوبة الشعرية فـــوق سطح الماء فى الإناء ، وبذلك يعظم التغير فى ضغط البخار . ونحن عندما نستعمل القيم العددية لثابت ما ، نطلق عليه اسم التوتر السطحى ، (هو الذى يعين ارتفاع عمود الماء داخل الأنبوبة الشعرية)

---

* المقصود بالتوازن هنا أن يكون عدد جزيئات بخار الماء التى تترك سطح السائل إلى الخارج مساوياً تماماً لعدد جزيئات البخار التى تعود إليه من الخارج . وتسمى هذه الحالة أيضاً باسم (حالة التشبع) فإذا زاد عدد الجزيئات التى تترك سطح السائل على العدد الذى يعود إليه من الخارج فإنه يحدث البخر . أما فى حالة التكاثف فيحدث العكس (المترجم) .

وكثافة بخار الماء (هى التى تعين فرق الضغط بين مستوى الماء فى الإناء ومستواه فى الأنبوبة الشعرية) ، نستطيع أن نحصل على معادلة ــ أو قاعدة رياضية ــ نعبر بها عن مدى اعتماد (أو توقف) قيمة ضغط البخار على تقوس (أو انحناء) سطح الماء . وإذا لم تكن هذه المعادلة صحيحة كان من الممكن أن يسرى الماء سرياناً مستمرًا خلال الأنبوبة الشعرية ، وبذلك نحصل على آلة من آلات الحركة المستديمة من النوع الثانى .

وللنتيجة التى توصلنا إليها فيما سبق دخل فى دراسة ظاهرة المطر . فإن السحب التى تسبح فى السماء إنما تتكون من عدد لا يحصى من نقط الماء الصغيرة (كالضباب) التى تبلغ من الصغر درجة تحول دون تساقطها بسهولة . ولا تتساوى هذه النقاط كلها فى الحجم ، بل إن منها الكبير نسبياً ، كما أن منها الصغير . ولكن ما هو أثر هذا الاختلاف فى حجوم النقط ؟ لما كان ضغط البخار بالنسبة للأسطح المحدبة (كما هو الحال فى نقط الماء) أكبر من ضغط البخار فوق الأسطح المستوية ، كما رأينا ، فإنه من اللازم أن تكون قيمة ضغط البخار فوق أسطح النقط الصغيرة أكبر من قيمته فوق أسطح النقط الكبيرة . وينجم عن هذا الفرق فى ضغط بخار الماء أن يسرى البخار من النقط الصغيرة إلى النقط الكبيرة ، حيث يتم تكثفه على هذه الأخيرة وتزداد حجومها تبعا . ومن ناحية أخرى تتبخر النقط الصغيرة تدريجا حتى تتلاشى . وسرعان ما يعجز الهواء عن حمل النقط النامية ، فتنهمر مطراً فوق رؤوسنا ومظلاتنا .

نظرية الحركة للحرارة

استمر البحث فى نظرية الحرارة ، وتحديد العلاقة بين القانون الأساسى للديناميكا الحرارية ، وفكرة أن الحرارة هى صورة من صور الطاقة لجسيمات صغيرة ، هى الجزيئات التى تبنى منها كل الأجسام المادية ، خلال الربع الأخير من القرن الماضى . وأجريت أهم هذه البحوث على يد لدفيج بولتزمان فى ألمانيا ، وجيمس كلارك مكسويل فى إنجلترا ، وجوزيا جبز فى الولايات الأمريكية المتحدة ــ

(شكل (٤ ــ ٤) ، شكل (٥ ــ ١٦) . وعندما نحاول دراسة حركة الجزيئات الصغيرة التى لا سبيل إلى عدها ، والتى تكون الأجسام المادية ، نجد أنه بطبيعة الحال ليس فى الإمكان بحال من الأحوال ، بل ليس من المفيد فى شيء ، أن نتتبع تماماً مسار كل جزيء منها . فكل الذى يهمنا معرفته هو متوسط سلوك هذه الجزيئات فى مجموعها تحت الحالات الطبيعية المختلفة ، وتتطلب منا هذه الدراسة استخدام قوانين الإحصاء . وكثيراً ما يستخدم الإنسان الطرق الإحصائية عندما يتعرض لدراسة وحدات أو أفراد عديدة . ولهذا نجد أن شركات التأمين ، ومصالح الحكومة المختصة بمسائل إنتاج الفلاحين لمختلف المحصولات ونحوها . . . ترسم سياستها على ما تجمع من قيم إحصائية ، ولا يهمها مثلا تفاصيل قصة الموت الذى أنهى حياة السيد چون دوى ، ولا دقائق المزرعة التى يديرها جيرميا سميث . وعندما نأخذ فى الاعتبار أن عدد سكان الولايات المتحدة مثلا يقارب نحو ١٧٠ مليوناً من الأنفس ، فى حين يصل عدد الجزيئات فى السنتيمتر المكعب الواحد من الهواء إلى نحو ٢٠ مليون مليون مليون جزيء * ، نلمس بوضوح كيف أن قوانين الإحصاء التى يمكن تطبيقها بدقة فى حالة الجزيئات تفوق بكثير الدقة التى نطبقها بها فى حالة البشر .

وليس أهون علينا ولا أيسر من أن نطبق الطرق الإحصائية على الغازات ، إذ أن فيها ــ بخلاف السوائل والأجسام الصلبة ــ تنساب الجزيئات وتنطلق حرة فى الفضاء أو الحيز الذى يشغله الغاز ، فتتصادم بعضها مع بعض ، وكذلك تصطدم بجدران الوعاء الذى يضمها ، وعلى ذلك فإن جدران الوعاء المشتمل على أى غاز تتعرض لقذف مستمر بوابل من جزيئاته التى ترتد بعد التصادم معها . وتتمخض هذه العملية عن تولد قوة منتظمة ، هى ما نعبر عنه بضغط الغاز (ض) . وعندما نفترض أن نفس الكمية من هذا الغاز احتبست فى وعاء حجمه نصف حجم الوعاء الأول ، نجد أن عدد الجزيئات الموجودة فى السنتيمتر المكعب الواحد يصبح فى هذه الحالة ضعف العدد الذى كان موجوداً فى الحالة الأولى ، ومعنى ذلك تضاعف

---

* يعنى عشرين متبوعة بثمانية عشر صفرا (المترجم) .

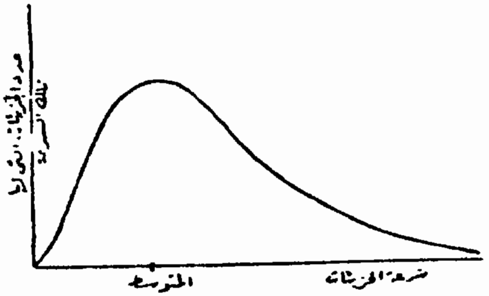
عدد الجزيئات التي تتصادم مع أى مساحة معينة من السطح فى الثانية الواحدة ، وهكذا يتضاعف ضغط الغاز مرتين . ويفسر لنا هذا القانون التناسب العكسى بين ضغط الغاز وحجمه الذى صاغه لنا روبرت بويل .

ولنبحث الآن فيما يحدث عندما تزداد سرعة الجزيئات . يتبع زيادة السرعة ظاهرتان هما : (١) يصل أى مساحة معينة عدد أكبر من الجزيئات فى الثانية ، (٢) تزداد قوة الصدمة الواحدة كما تعينها قوة الدفع الميكانيكى (هى — كمية الحركة — على حد تعبير نيوتن) . وبما أن الظاهرتين تتناسبان طردياً مع سرعة الجزيئات ، فإن الضغط سوف يزداد متناسباً مع مربع السرعة . وهذه الكمية الأخيرة هى ذاتها طاقة حركة الجزيئات . ولما كنا ، تبعاً لقانون شارل — جاى — لوساك ، على بينة من أن ضغط الغاز عند ثبوت الحجم إنما يتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة ، فإننا نستنتج أن (درجة الحرارة المطلقة ما هى إلا مقياس للطاقة الناجمة عن الحركة الحرارية للجزيئات) . وليس من المهم أن نعرف نوع هذه الجزيئات ، نظراً لأن من بين القوانين الأساسية للميكانيكا الإحصائية ، وهو القانون المعروف باسم « قانون تساوى توزيع الطاقة » ، ما يقرر أنه : (فى حالة الخليط المكون من عدد كبير من الجزيئات ، التى لها أكثر من كتلة معينة ، يظل متوسط طاقة الحركة لكل جزىء ثابتاً) . فمثلا عندما يتكون الخليط من جزيئات الأيدروچين مع جزيئات الأوكسچين التى يزن الجزىء منها ستة عشر ضعف ما يزنه جزىء الأيدروچين ، تعادل سرعة جزيئات الأوكسچين ربع قيمة سرعة جزيئات الأيدروچين ، بحيث يظل حاصل ضرب الكتلة فى مربع السرعة مقداراً ثابتاً . وفى درجة حرارة الغرفة العادية ، أى نحو ٣٠٠ درجة مطلقة ، تعادل قيمة طاقة الحركة الحرارية نحو ٢ ٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠ إرج ، وهى فى حالة جزىء الهواء تستلزم سرعة قدرها ٥٠ ألف سنتيمتر فى الثانية (أو ما يعادل ألف ميل فى الساعة الواحدة) .

وبطبيعة الحال ليست طاقة الحركة الحرارية هذه التى اعتمدنا فى تقديرها على درجة الحرارة المطلقة سوى متوسط هذه الطاقة لعدد كبير من الجزيئات . ولكن —

كما هو الحال فى الظواهر الإحصائية — قد تختلف الطاقة الفعلية لأى جزىء عن هذا المتوسط اختلافاً كبيراً . ونظراً لأن تصادم الجزيئات بعضها ببعض يتم حيثما اتفق ، فإن بعض الجزيئات قد يتاح لها ، خلال فترات زمنية قصيرة ، الحصول على سرعة كبيرة ، على حين يبطئ بعضها الآخر خلال تلك الفترات . وعندما نستخدم قوانين الميكانيكا الإحصائية نستطيع أن نحسب النسب المئوية لجزيئات الغاز التى تنحرف بدرجات مختلفة وتحيد عن التحرك بمتوسط السرعة تماماً . ويبين شكل (٤ — ٩) منحنى توزيع السرعة ، الذى تم حسابه لأول مرة على يد ماكسويل ، ولذلك فهو يحمل اسمه .

ومن بين الآراء الهامة فى النظرية الإحصائية للغازات فكرة « متوسط المسار الطليق » * ، أو متوسط المسافة التى يقطعها الجزىء بين تصادمين . ويبلغ متوسط المسار الحر هذا قيمة ضئيلة جدا فى الهواء الجوى ، فهو لا يعدو نحو ٠,٠٠٠٠١ سنتيمتر ، على حين أنه فى الغازات المخلخلة (أى قليلة الضغط جدا) التى تملأ الفضاء الكونى كبير جداً ؛ فقد يتحرك جزىء أى غاز عبر عدة أميال قبل أن يلتقى بجزىء آخر . ويفسر لنا قصر متوسط المسار الحر (على الأرض) حقيقة أن الجزيئات ، برغم تحركها السريع ، تستغرق زمناً طويلا لتنتقل مثلا من أحد جوانب الغرفة إلى الجانب الذى تقابله . وفى الواقع تكون الجزيئات فى وضع



شكل (٤ — ٩)

منحنى توزيع السرعة لمكسويل

* تترجمه بعض الجهات باسم المسار الحر كذلك (المترجم) .

يشابه وضع لاعب الكرة الذى يتشبث بالكرة بيديه ويروح منطلقاً إلى خط المرمى ، إلا أنه يلقى معارضة وهجوماً من أفراد الفريق الآخر فى كل خطوة يخطوها . وبطبيعة الحال بينما يكون هدف لاعب الكرة هو خط المرمى ، ويحاول جاهداً الإسراع فى الوصول إليه ، نجد أن الجزيئات لا تبصر وتتحرك على غير هدى ، وترتد عقب كل مرة يتم فيها الاصطدام فى أى اتجاه دون تمييز خاص . ويمكن التدليل رياضياً على أنه فى حالة الحركة التى تتم بهذا الشكل ، المعروفة باسم « المسير حسبما اتفق أو جزافاً » ، يكون متوسط المسافة المقطوعة بعد خطوات عديدة مساوياً لطول الخطوة الواحدة مضروباً فى الجذر التربيعى للعدد الكلى لهذه الخطوات ، وليس مضروباً فى نفس عدد الخطوات ، كما ننتظر إذا كانت الخطوات كلها تتم فى نفس الاتجاه وعلى ذلك فإن القاعدة هى :

المسافة المقطوعة = طول الخطوة الواحدة × $\sqrt{\text{عدد الخطوات}}$.

وعندما نحاول تطبيق ذلك على هواء الجو ، نجد أن طول الخطوة الواحدة هو كما قدمنا ٠,٠٠٠٠١ ستيمتر ، فإذا كان على الجزيئات أن تسافر عبر مسافة قدرها عشرة أمتار مثلا (ألف ستيمتر) ، فنجد أنه تبعاً للقاعدة السابقة يلزم أن يكون العدد الكلى للخطوات (الجزافية) مساوياً :

$\left(\frac{١٠٠٠}{٠,٠٠٠٠١}\right)^{٢}$ = ١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ، أى عشرة متبوعة بخمسة عشر صفراً .

فإذا كانت السرعة ٥٠ ٠٠٠ ستيمتر فى الثانية ، فإن كل خطوة منها تتم فى زمن قدره $\frac{٠,٠٠٠٠١}{٥٠٠٠٠}$ = ٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٢ ثانية ، وعلى ذلك يكون الزمن الكلى لجميع الانتقالات هو : ١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ × ٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٢ = ٢٠٠٠ ٠٠٠ ثانية ، أو ما يعادل نحو ٢٠ يوماً .

والآن لنتساءل : كيف تفسر لنا نظرية الحركة للحرارة القانون الأساسى للديناميكا الحرارية ، الذى يقول بأنه فى جميع العمليات الحرارية يجب أن تزداد درجة التعادل دائماً ؟ ثم ما هو المقصود بدرجة التعادل على أية حال من وجهة نظر النظرية الإحصائية لحركة الجزيئات ، ولماذا تسرى الحرارة دائماً من الأجسام الساخنة

إلى الأجسام الباردة نسبياً ، ثم لا نستطيع تحويل أى قدر معين من الحرارة بأكمله إلى طاقة ميكانيكية ، فى الوقت الذى لا تعترض سبيلنا مثل هذه الاستحالة فى حالة تحويل الطاقة الميكانيكية إلى حرارة ؟ ونجد الإجابة عن كل هذه الأسئلة أمراً طبيعيا إذا استعرضنا أمامنا ما يحدث للجزىء فى هذه الحالات . لذلك نأخذ ما نحتجز فيه الغاز (من آنية أو أجهزة) ونقسمه إلى نصفين متساويين بحاجز يحول دون تسرب الحرارة ، ثم نملأ أحد النصفين بغاز ساخن ، والنصف الثانى بغاز بارد ، وبعد ذلك نرفع الحاجز . فما الذى يحدث ؟

من الواضح أن جزيئات الغاز الساخن التى تتحرك بسرعة تفقد طاقاتها عندما تتصادم مع جزيئات الغاز المنخفض الحرارة التى تتحرك ببطء نسبيا . وتستمر هذه العملية حتى يتم تساوى توزيع الطاقة بين جميع الجزيئات ، أى تتساوى درجة الحرارة فى نصفى الجهاز الذى نحتجز فيه الغاز . ومثل هذا الوضع يشابه إلى حد ما السلة التى يملأ نصفها السفلى بالخرز الأسود ونصفها العلوى بالخرز الأبيض . فعندما نهزها يختلط الخرز تدريجا حتى يتم توزيع اللونين الأبيض والأسود بالتساوى من قمة السلة إلى قاعها . فهل نستطيع فصلهما بعد ذلك باستمرار الهز والمضى فيه ؟ الإجابة عن هذا السؤال هو : نعم ، ولكن نظريا فقط ؛ إذ أنه فى الحقيقة لا يوجد سبب يحول دون إتمام هذا الفصل ، رغم أن ذلك غير محتمل إلى حد كبير * ، فقد يستلزم الأمر أن نظل نهز السلة عدة قرون ، أو حتى ملايين السنين حتى يحدث ، لمجرد المصادفة ، أن يتجمع من جديد كل الخرز الأسود فى القاعدة ، وكل الخرز الأبيض فى القمة . وينطبق ذلك أيضاً على جزيئات الغاز ، فإنه من الجائز ، من حيث المبدأ أن يتباطأ نصف عدد الجزيئات لمجرد التصادم حيثما اتفق ، حتى تهبط سرعتها كثيراً تحت المتوسط ، على حين تزداد سرعة النصف الباقى تبعا لذلك . إلا أن هذا بعيد الاحتمال جدا .

ونحن نصادف بعض الأوضاع الشبيهة بذلك فى حالات تحول الطاقة الميكانيكية إلى حرارة أو العكس. فعندما نتصور مثلا قذيفة نارية(رصاصة) تطلق

* لاحظ أنه فى لغة الإحصاء الرياضى نقول : إن عدم الاحتمال ليس معناه الاستحالة . (المترجم)

على حائط من الصلب ، نجد أنه فى أثناء انسياب القذيفة نحو الهدف تتحرك جميع جزيئاتها معاً فى نفس الاتجاه وبنفس السرعة . (وبطبيعة الحال تتداخل هذه الحركة المشتركة مع الحركات الأخرى غير المنتظمة التى تكتسبها الجزيئات تبعاً لدرجة الحرارة الأصلية للقذيفة) . وعندما يوقف جدار القذيفة ، تتحول هذه الإزاحة المنظمة إلى إزاحات أخرى غير منظمة لكل جزىء ، وبذلك تزداد التحركات الحرارية الأصلية للجزيئات التى تتكون منها القذيفة والجدار . ومرة أخرى نستطيع هنا أن نتصور إمكان حدوث العكس ، أى إن الجزيئات التى يتألف منها طرف قضيب من المعدن سخناه فى النار ، سوف تكتسب لمجرد المصادفة السرعة الحرارية لكل منها نفس الاتجاه ، وبذلك يمرق القضيب منطلقاً كأنما قد قذف من مدفع . ولكن هذه أيضاً ظاهرة غير محتملة الحدوث بتاتاً . وهكذا يتضح لنا أن قانون درجة التعادل المتزايدة يمكن أن نعبر عنه فى بساطة بقولنا : (فى جميع الطرق الطبيعية تميل الحركة المنظمة للجزيئات إلى التغير لكى تصبح غير منتظمة أو لا رابط لها) . وتسير كل الأمور فى الاتجاه الذى يتحول فيه نظام حركة الجزيئات من النماذج الأقل احتمالا إلى النماذج الأكثر احتمالا ، وما الزيادة فى درجة التعادل إلا زيادة الاحتمال فى نماذج حركة الجزيئات .

ويمكن استنتاج العلاقة التى تربط بين احتمال حدوث نموذج معين لحركة الجزيئات ودرجة التعادل بالطريقة السهلة الآتية ، التى كان أول من اقترحها هو لدفيج بولتزمان :

نأخذ جهازين من أجهزة الديناميكا الحرارية مثل ا ، ب ، ونفرض أنهما حيزان نحتجز فيهما غازين مختلفين تحت ضغطين متباينين ، أو حتى يمكن أن نعتبر الجهازين من النوع الأكثر تعقيداً ، على غرار تلك الأجهزة التى تحتوى السوائل ، وأبخرتها والبلورات الصلبة ، ومحاليلها فى السوائل . . . إلخ . فإذا كانت درجة حرارة الجهازين واحدة وتساوى (ر) ، ثم وصلناهما حراريا ، فإنه لا يحدث أن تسرى الحرارة فى اتجاه معين ، ويظل الجهازان على نفس الحالة التى كانا عليها قبل التوصيل . ولكن عندما نفترض أن قدراً معيناً من الحرارة يفيض من الخارج إلى

الجهازين ، بحيث يكتسب الجهاز ا القدر س ا سعر ، ويكتسب الجهاز ب القدر س ب سعر ، وعلى ذلك تزداد قيمة درجة تعادل الجهاز ا بالقدر $\frac{س ا}{ر}$ ، كما تزداد قيمة درجة تعادل الجهاز ب بالقدر $\frac{س ب}{ر}$. وعندما نضم الجهازين معاً فى جهاز واحد تكون الزيادة فى درجة تعادل هذا الجهاز هى $\frac{س ا + س ب}{ر}$.

$$\text{ولما كانت } \frac{س ا + س ب}{ر} = \frac{س ا + س ب}{ر}$$

فنستنتج أن درجة تعادل أى جهاز مركب إنما تساوى مجموع درجات تعادل أجزائه .

والآن يمكننا أن نتساءل : كيف يبدو هذا الوضع من وجهة نظر احتمالات النماذج المختلفة لحركات الجزيئات ؟ ثم كيف يمكن التعبير عن هذا الاحتمال للجهاز المركب من ا ، ب بدلالة احتمالات كل من ا ، ب على حدة ؟

إننا نجد أنه تبعاً للنظرية الرياضية للاحتمالات (يعطى احتمال أى حادثة مركبة — أى حادثة تحقق عدة شروط لا رابط بينها — بحاصل ضرب احتمالات الحادثات المستقلة التى تتكون منها هذه الحادثة المركبة) . وعلى ذلك إذا تمنت واحدة أن تكون فى يوم ما من الأيام «طويلة وسمراء وجميلة »، فإن احتمال تحقيق أمنيتها هو حاصل ضرب احتمال أن تكون طويلة ، فى احتمال أن تصبح سمراء ، فى احتمال أن تصير جميلة . فإذا كانت فرصة أحد الرجال ليصير طويلا هى $\frac{١}{٤}$ (أى مرة واحدة من كل أربع) وفرصته ليصبح أسمر اللون هى $\frac{١}{٣}$ ، كما أن فرصته ليصير وسيما تساوى $\frac{١}{٥٠}$ ، فإن احتمال حدوث الحالات الثلاث مجتمعة هو :

$$\frac{١}{٤} \times \frac{١}{٣} \times \frac{١}{٥٠} = \frac{١}{٦٠٠}$$

أى مرة من كل ٦٠٠ حالة .

وعلى هذا الأساس يتضح لنا أنه ، بينما تجب إضافة درجات التعادل (إضافة جبرية) فى أجهزة الديناميكا الحرارية المركبة ، فإن الاحتمالات تخضع لحاصل الضرب . فأى نوع من أنواع الاعتماد الرياضى بين كميتين يمكن أن يحقق مثل هذه

الحالة ؟ ليس من شك أنه الاعتماد اللوغاريتمى ؛ وذلك نظراً لأننا عندما نضرب عددين نلجأ إلى جمع لوغاريتميهما . وإذاً فإن درجة التعادل يجب أن تتغير مع لوغاريتم الاحتمال ، والتعبير الرياضى لذلك هو :

S = ك لو ض

حيث ك هو معامل عددى يقال له معامل بولتزمان .

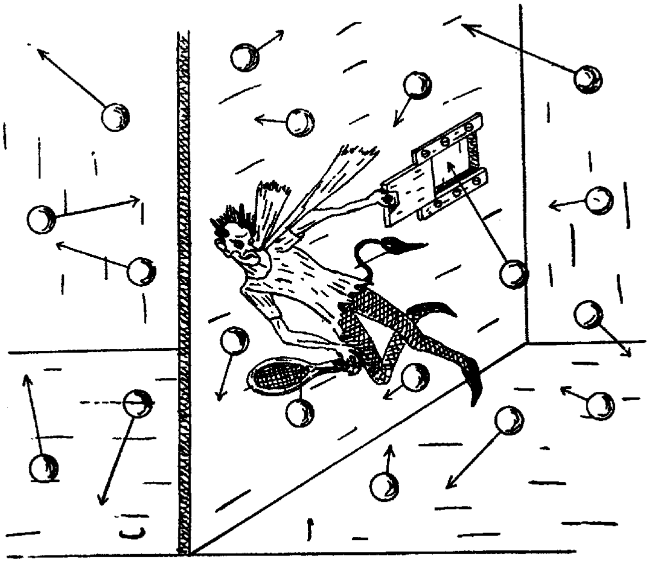
وتكون المعادلة السابقة أشبه شيء بالقنطرة التى تصل بين الديناميكا الحرارية التقليدية ، ونظرية الحركة للحرارة ، كما تسمح لنا بحساب جميع مقادير الديناميكا الحرارية على أساس اعتبارات إحصائية .

عفريت مكسويل

ومن الشخصيات الهامة جداً فى الفيزياء الإحصائية « عفريت » مكسويل ، وهو من نتاج خيال چيمس كلارك مكسويل – شكل (٥ – ١٦) – الذى ندين له بكثير من الإضافات فى مجال العلوم .

فقد تصور مكسويل عفريتاً من الجن الصغير الممتلىء بالنشاط إلى أقصى حد – شكل (٤ – ١٠) – ، فى إمكانه رؤية كل جزىء على حدة ، كما يبلغ من السرعة الحد الذى يجعله يعالجها بسهولة كما يعالج البطل كرة التنس . إن مثل هذا العفريت يستطيع أن يعيننا على التغلب على قانون درجة التعادل المتزايدة ، وذلك بأن يعمد إلى نافذة صغيرة فى الجدار الذى يفصل بين غرفتين من الغاز ا ، ب ، فيقفلهما ويفتحهما بوساطة لوح ينزلق دون أدنى احتكاك . ويفتح الجن النافذة عندما يبصر جزيئاً يتحرك بسرعة فى ذلك الاتجاه . وعلى هذا الأساس يمكن بمضى الوقت أن تتجمع فى الغرفة ب كل الجزيئات السريعة التى يمثلها منحنى توزيع مكسويل ، على حين لا يبقى فى الغرفة ا سوى الجزيئات البطيئة ، ومن ثم ترتفع درجة حرارة ب ، وتنخفض درجة حرارة ا . وهكذا تسرى الحرارة فى الاتجاه المضاد ، غير متفقة فى ذلك مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية .

ولكن لماذا لا نستطيع إنجاز ذلك ؟ ليس بطبيعة الحال عن طريق الاستعانة



شكل (٤ — ١٠)

عفريت مكسويل من الجن الذى يدعى إمكان فصل الجزيئات السريعة عن الجزيئات البطيئة

بعفريت حقيقى ، ولكن باستعمال بعض الآلات أو الأجهزة الفيزيائية الدقيقة الرائعة الصنع التى تعمل بنفس الطريقة ؟

ولكى نفهم هذا الوضع دعنا نلق سؤالا خفىّ المعنى ، سأله عالم الفيزياء النمسوى المشهور إروين شرودنجر — شكل (٧ — ١٩) — فى كتابه الممتع جدا (ما هى الحياة ؟) . هذا السؤال هو : « لماذا تبلغ الذرات هذا الحد من الصغر » ؟ ويبدو هذا السؤال لأول وهلة كأنه فارغ لا معنى له ، إلا أنه عندما يعكس يظهر له معنى ، ويتضح جوابه ، وذلك عندما نتساءل : (لماذا نحن نبلغ هذا الحد من الكبر بالنسبة إلى الذرات ؟) . وجواب هذا السؤال بطبيعة الحال هو بكل بساطة : إن مثل هذا التكوين العضوى المعقد للإنسان ، بما فيه من مخ ، وعضلات ، و . . إلخ ، لا يمكن تركيبه من مجرد عدة عشرات من الذرات ، تماماً كما يتعذر علينا بناء كنيسة على النمط القوطى مثلا من عدد محدود من الحجارة .

ومن اللازم أن نبنى عفريت مكسويل هذا ، وكثيراً من الأجهزة الميكانيكية التى قد تؤدى عمله بدلا منه ، من عدد صغير من الذرات ، وبذلك لا نستطيع

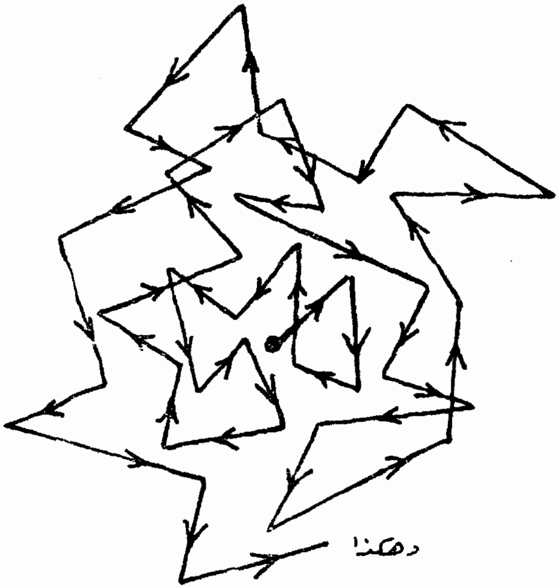
فى الغالب أن نقوم بوظيفتها المعقدة . فكلما قل عدد الذرات ، عظمت الذبذبات أو الفلتات الإحصائية فى سلوكها وطريقة تصرفها . فالسيارة التى تقفز إحدى عجلاتها الأربع فجأة لتكون عجلة القيادة ، فى حين يصبح خزان التبريد فيها خزاناً للبنزين ، وهكذا . . . ، لا تعتبر سيارة يعتمد عليها فى القيادة. وكذلك فإن عفريت مكسويل سواء أكان حقيقيا أم مجرد آلة من الآلات ، سوف يرتكب العديد من الأخطاء الإحصائية عندما يتعقب الجزيئات ، بحيث ينهار المشروع كلية.

الحركة الحرارية المجهرية

لم تكن تلك الأرقام العظمى والأرقام الصغرى التى ذكرناها فى سياق حديثنا عن عالم الجزىء إلا نتيجة لمجرد الحساب والتقدير ؛ وذلك لأن الجزيئات وما يصحبها من تحركات تبلغ من الصغر الحد الذى يحول دون مشاهدتها ، حتى إذا استخدمنا أحسن أنواع آلات التكبير (المجهر أو الميكروسكوب) . ومهما يكن من شىء ، فقد يحدث أن نضيق الثغرة التى تفصل بين الجزيئات التى لا سبيل إلى رؤيتها وبعض الأجسام الكبيرة التى نصادفها فى حياتنا اليومية ، وذلك عن طريق رصد سلوك الجسيمات الصغيرة وطريقة تصرفها . ويبلغ قطر الواحد من هذه الجسيمات حدود الميكرون* ، وهى بذلك من جهة على جانب من الصغر يسمح لها بأن تتعرض لحركة حرارية ملحوظة ، كما أنها من جهة أخرى تبلغ من الكبر ما يمكننا من مشاهدتها خلال مجهر قوى . وأول من درس مثل هذه الأجسام عالم النبات البريطانى روبرت براون الذى شاهد أن خلايا النبات عندما تطفو فوق سطح الماء لا يهدأ لها بال ، وإنما تظل منهمكة فى أداء أشبه شىء بالرقصة الإيطالية (هى التارنتيلا) ؛ فتقفز فى غير انتظام هنا وهناك ، كأنما يقذف بها على الدوام عامل خفى — شكل (٤ — ١١) — ولم يستطع براون ذاته ، ولا من عاصره من العلماء ، تفسير هذا السلوك العجيب الذى تتخذه تلك الجسيمات الصغيرة ، ومضى زهاء قرن كامل

* الميكرون وحدة صغيرة لقياس الأطوال الصغرى ، ويساوى جزءاً من عشرة آلاف جزء من السنتيمتر الواحد (المترجم) .

قبل أن يجىء عالم الفيزياء الفرنسى چين بيران ويفسرها كنتيجة للعديد من الصدمات التى تتلقاها هذه الجسيمات من جزيئات الماء الواقعة تحت تأثير الحركة الحرارية. ولقد أمدتنا دراسات بيران فى موضوع الحركة البراونية ببرهان قاطع على صحة نظرية الحركة الحرارية ، كما سمحت لعلماء الفيزياء بمشاهدة القوانين الإحصائية للحركة ، وذلك بطريقة مباشرة، بعد أن كانت قبل ذلك مجرد آراء نظرية . وظهرت النظرية الرياضية السليمة المفسرة لحركة براون على يد الشاب الصغير ألبرت أينشتين ، وذلك ضمن أحد الموضوعات الثلاثة التى نشرها عام ١٩٠٥ . أما الموضوعان الآخران فكانا على نظرية الكم للضوء ، ونظرية النسبية . واليوم تعتبر النظرية الإحصائية للحرارة التى



(شكل ٤ – ١١)

« السير حسبما اتفق » هو حركه الجسم عند ما يتغير الاتجاه سريعاً بلا رابط ومن غير انتظام ، بسبب التصادم مع الأجسام الأخرى ، سواء أكان ذلك الجسم جزيئا أخذ يتصادم مع غيره من الجزيئات ، أم مدمن خمر راح يتخبط فى أعمدة المصابيح . وجلى أن الجسم عند ما يسير على هذا النحو لا يتقدم بنفس المعدل الذى يتقدم به عند ما يسير قدماً فى خط مستقيم . ويمكن البرهنة على أن متوسط المسافة المقطوعة من نقطة الابتداء تساوى فى مثل هذه الحالة طول الخطوة مضروباً فى الجذر التربيعى لعدد الخطوات .

تسمى عموماً باسم « الفيزياء الإحصائية » ، فى مصاف ميكانيكا نيوتن اكتمالا ووضوحاً .

الحركة الحرارية وانتشار الصوت

من الأشياء المعروفة تماماً أن الصوت ما هو إلا انتشار أمواج التضاغط خلال الهواء وغيره من المواد . ولقد كشفت لنا الدراسات التجريبية عن حقيقة رائعة — فحواها أن سرعة الصوت لا تعتمد على كثافة الهواء ، وأن قيمتها عند مستوى سطح البحر تساوى قيمتها فى طبقات الجو العليا المخلخلة . ومن ناحية أخرى نجد أن هذه السرعة تتوقف على درجة حرارة الهواء؛ إذ تتناسب طردا مع الجذر التربيعى لدرجة الحرارة المطلقة . فكيف نستطيع أن نفسر هذه الحقائق من وجهة نظر التركيب الجزيئى والحركة الحرارية ؟

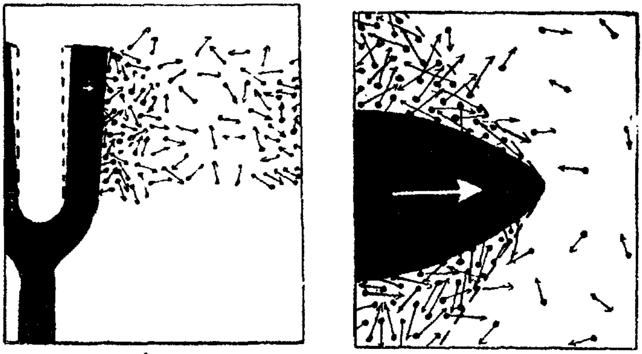
لكى نستطيع ذلك ، يجب أن نتذكر أن الهواء يتكون من عدد وفير من الجزيئات تندفع حسبما اتفق فى الفضاء بسرعة تزداد بارتفاع درجة الحرارة . وعندما تنطلق موجة تضاغط صوتية ، عن طريق ذبذبات شوكة رنانة مثلا ، فإن جزيئات الهواء القريبة من فرعى الشوكة تدفع دفعاً فى اتجاه الحركة ، وهذه عندما تتصادم مع غيرها من الجزيئات التى تليها فى البعد عن الشوكة (فى الطبقة الهوائية الرقيقة التى تليها) توصل إليها هذا الدفع . ثم تدفع هذه بدورها الجزيئات التى تليها فى الطبقة التى بعدها . وهكذا ينتقل التضاغط خلال الهواء ، مكوناً موجة صوتية . ولما كان من الضرورى أن تنطلق جزيئات الهواء سابحة عبر مسافة طويلة نسبيا (هى المسماة المسار الطليق أو الحر) قبل أن تصدم جزيئات الطبقة الثالثة ، فإن سرعة الانتشار إنما تحدد أساساً بالسرعة الحرارية للجزيئات . وتفسر لنا هذه الصورة الديناميكية الحقيقتين السابقتين المتعلقتين بسرعة الصوت . فليس من شك أن السرعة الحرارية للجزيئات تظل على ما هى عليه عندما تثبت درجة الحرارة، بصرف النظر عما يصيب الغاز ، سواء بالزيادة أو بالنقصان . ومن ناحية أخرى ، لما كانت طاقة حركة الجزيئات تتناسب طردا مع درجة الحرارة المطلقة ، فإنه من الطبيعى أن تزداد

سرعتها متناسبة مع الجذر التربيعى لدرجة الحرارة . وما ينطبق على سرعة جزيئات الهواء يجب أن ينطبق كذلك على سرعة الصوت .

ويشاهد الوضع المخالف لذلك تماماً عندما تزداد سرعة الجسم الذى يصدر عنه تضاغط الغاز ، وتعلو فوق سرعة الحركة الحرارية للجزيئات تحت حالات معينة . ويحدث ذلك مثلا عندما تنطلق الغازات الساخنة المتكونة بالانفجار وتدفع بالهواء المحيط بها فى عنف وشدة ، أو عندما يتفرق الهواء بأجنحة وجسم طائرة أو قذيفة تنطلق بسرعة تفوق حدود سرعة الصوت . وفى هذه الحالة لا تبلغ السرعة الحرارية للجزيئات القدر الذى يكفى لهربها من (الدافع) الذى يزحف بسرعة ، وتبدأ الجزيئات فى التراكم بعضها فوق بعض ، وينجم عن ذلك ازدياد الكثافة . ويمثل الفرق بين هذه الحالة والحالة السابقة بالرسم الذى فى شكل (٤ — ١٢) ، إذ تكون الجبهة الزاحفة للغاز المضغوط ضغطاً عالياًما يعرف باسم (موجة الصدمة) . ونظراً لارتفاع الكثافة ارتفاعاً كبيراً يلازم موجة الصدمة هذه المزيد من الضغط العالى ، مما يفسر لنا آثارها المدمرة . فى حالة تفجير القنابل يتباطأ تمدد الغازات الساخنة ، وينفصل تضاغط الهواء عن (الدافع) ، ويستمر فى سيره على هيئة موجة الصدمة . أما فى حالة الطائرات والقذائف فوق الصوتية التى تنطلق بسرعة ثابتة ، تحت تأثير دفع محركاتها ، فإن موجة الصدمة تظل ساكنة بالنسبة للجسم المتحرك . ولذلك تعرف باسم « الصدمة الواقفة » .

إشعاع الأجسام الساخنة للضوء

من الأمور المعروفة والمألوفة أن كل الأجسام المادية تضىء إذا ما سخنت إلى القدر الكافى من « درجة الحرارة » . وهذه هى الطريقة التى كانت تستعمل فى الإضاءة قديماً باستخدام لهب مصابيح الغاز ، كما أنها هى ذاتها الطريقة التى تتبع اليوم فى توليد الضوء بالأسلاك الشعرية الساخنة فى مصابيح الكهرباء الحديثة . وعندما نتحدث عن مستوى الكون نجد أن الشمس والنجوم يشع منها الضوء كذلك ، نظراً لعظم حرارة أسطحها الخارجية . ونحن نعرف من خبرتنا العادية أننا فى درجات الحرارة المنخفضة نسبيًّا ، كما هى الحال فى وحدات التسخين التى نستخدمها فى غرفنا ، نحصل على إشعاع حرارى بدلا من الضوء المرئى . وعندما يبلغ مدى درجة حرارة



ب ا

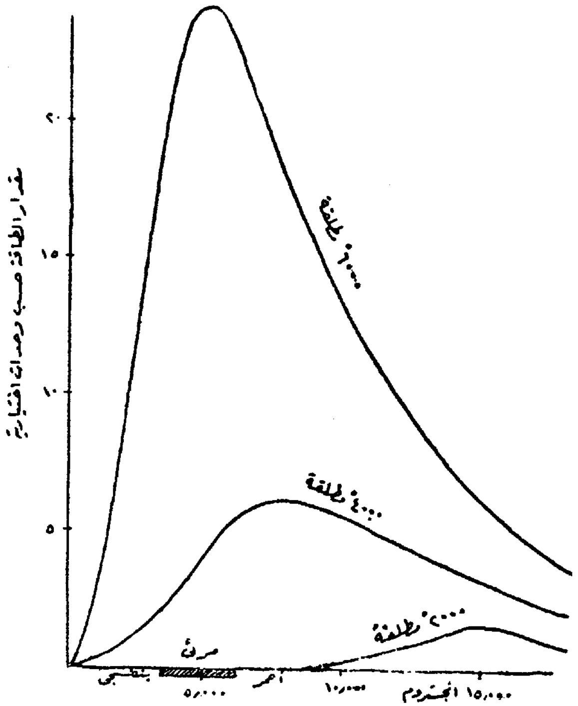
شكل (٤ – ١٢)

تولد موجة صوتية فى حالة تحرك « الدافع » بسرعة أقل من سرعة الجزيئات (ا) وكذلك تولدموجات الصدمة (صدمات واقفة) عند ما يتحرك « الدافع » بسرعة أكبر من سرعة الجزيئات(ب) .

وحدة التسخين المستخدمة فى المطابخ نحو ٦٠٠° إلى ٧٠٠°م، يصير لونها أحمر من الحرارة، وتومض ببريق خافت يميل إلى الحمرة . أما السلك الشعرى الذى فى المصباح الكهربى فإن درجة حرارته ترتفع إلى ما يقرب من ٢٠٠٠°م، ولذلك فهو يشعّ من الضياء كل جميل براق ، إلا أنه يبدو مصفراً إذا ما قورن بضوء القوس الكهربية الناصع ، عندما تبلغ درجة حرارة القوس نحو ٣٠٠٠° إلى ٤٠٠٠°م . ويرسل سطح الشمس الخارجى، الذى تبلغ درجة حرارته نحو ٦٠٠٠° م، ضوءاً غنيًّا بالأشعة الزرقاء التى تفوق مقاديرها فى ضوء الشمس هذا، مقادير الأشعة الزرقاء التى يشعها أى مصدر ضوئى من المصادر آنفة الذكر. وعلى ذلك كلما ارتفعت درجة الحرارة عظمت حدة الأشعة * المنبعثة ، وكذلك ازدادت مقادير الأشعة القصيرة فيها . ويبين شكل (٤ – ١٣) توزيع كميات الطاقة الإشعاعية على الموجات المختلفة الطول ، فى الإشعاعات التى ترسلها الأجسام المادية المختلفة الحرارة .

فعندما تكون درجة الحرارة ٢٠٠٠° مطلقة (كلفن) تقتصر الطاقة المنبعثة على الأمواج الحرارية ، وتنعدم شدة الطاقة الضوئية (المرئية) المبينة فى الشكل بالمنحنى القصير . وعندما تصبح درجة الحرارة ٤٠٠٠° مطلقة ، ينبعث بعض الضوء المرئى ، إلا أن

* هى كمية الطاقة (المترجم) .



شكل (٤ — ١٣)

توزيع الطاقات فى طيف متصل تشعه أجسام مادية عند ثلاث درجات مختلفة من الحرارة .

شدة الأشعة الحمراء فيه تفوق كثيراً شدة الأشعة الصفراء والخضراء والزرقاء . وعندما تبلغ درجة الحرارة ٦٠٠٠° مطلقة (كما هى الحال فى السطح الخارجى للشمس) يقع السواد الأعظم للطاقة الإشعاعية ناحية المنطقة الصفراء * من الطيف ، ونلاحظ نحن خليط الأمواج فى صورة « الضوء الأبيض » . وإذا ما ارتفعت درجة الحرارة فوق هذا الحد تزاح النهاية العظمى للطاقة تجاه منطقة الأشعة فوق البنفسجية غير المرئية . وهناك من النجوم ما يبلغ من الحرارة العالية الحد (عدة مئات الألوف من الدرجات) الذى يجعل أغلب ما ترسل من ضياء يقع فى المنطقة فوق البنفسجية غير المرئية .

ويخضع انبعاث الضوء من الأجسام المادية الساخنة لقانونين هامين ، أميط

* توجد النهاية العظمى للطاقة عند الأشعة الزرقاء والخضراء (المترجم) .

اللثام عنهما خلال النصف الثانى للقرن الماضى :

قانون ڤين : صاغه عالم الفيزياء الألمانى ولهلم ڤين (١٨٦٤ — ١٩٢٨) . ويقول هذا القانون : (يتناسب طول موجة النهاية العظمى للطاقة فى الطيف تناسباً عكسيًّا مع درجة حرارة الجسم المشع المطلقة) . ويمكننا أن نلاحظ فى شكل (٤ — ١٣) وقوع النهاية العظمى للطاقة عند درجة ٦٠٠٠° مطلقة على الموجة التى طولها نحو ٥٠٠٠ أنجستروم * ، على حين هى تقع على الموجة ١٥٠٠٠ أنجستروم عندما تكون درجة حرارة الجسم المشع ٢٠٠٠° مطلقة .

قانون ستفان — بولتزمان : اكتشفه عالم الفيزياء الألمانى چوزيف ستفان (١٨٣٥ — ١٨٩٣) ، ثم أمكن استنتاجه نظريًّا باستخدام الديناميكا الحرارية على يد لدڤيج بولتزمان الذى سبق ذكره . ومنطوق القانون هو : (تتناسب الطاقة الكلية التى يشعها أى جسم ساخن مع الأس الرابع لدرجة حرارته المطلقة) ومن الجلى والواضح دون شك أن المساحة الواقعة تحت المنحنى الذى يمثل التوزيع عند ٦٠٠٠° مطلقة فى شكل (٤ — ١٣) هى ٣^٤ = ٨١ مرة قدر المساحة الواقعة تحت المنحنى الذى يمثل توزيع الطاقات عند ٢٠٠٠° مطنقة .

الإشعاع الضوئى من الغازات الساخنة

تقتصر معالجة موضوع الإشعاع الضوئى من الأجسام الساخنة الذى أوردناه فى البند السابق على حالة الأجسام الصلبة أو السائلة ، مثل أسلاك التنجستن tungsten الشعرية التى فى داخل المصباح الكهربى ، أو الحديد السائل فى أحد مصانع صهر ** الحديد ، ولكننا نجد أن الوضع يختلف عن ذلك تماماً عندما ندرس

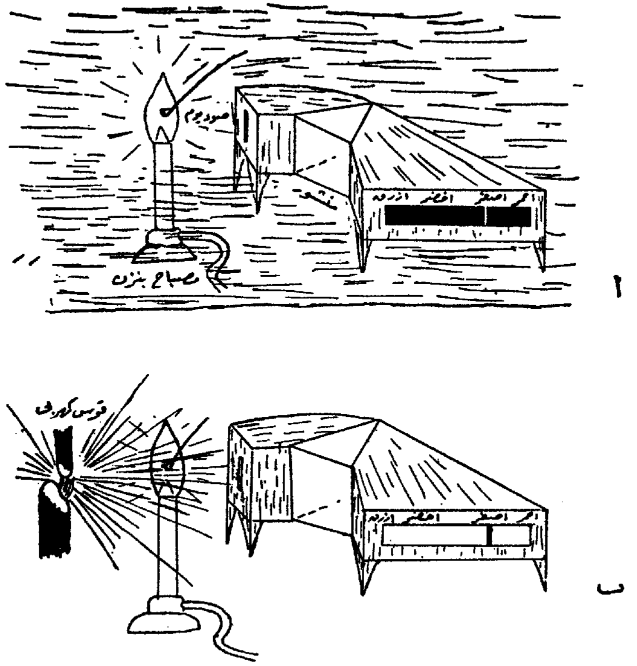
* الأنجستروم وحدة أصغر من الميكرون ، وهى تساوى جزءاً واحداً من عشرة آلاف جزء من الميكرون (المترجم) .

** تعتبر مادة الشمس (على وجه العموم) فى الحالة الغازية بسبب درجات حرارتها العالية جداً التى تتراوح ما بين ٦٠٠٠° على السطح ونحو ٢٠ مليون درجة مطلقة عند المركز . وعلى أية حال ، بصرف النظر عن طبقة رقيقة خارجية هى الكروموسفير ، يقع على الغازات التى تكون جسم الشمس ضغط مرتفع يسبب ازدياد كثافتها إلى حدود الكثافة الطبيعية للأجسام الصلبة أو السائلة ، ولهذا فهى ترسل طيفاً متصلا. (المؤلف)

حالة الضوء المنبعث من الغازات الساخنة . فعندما ننظر من خلال منشور إلى الضوء المنبعث من غاز من الغازات ، أو من مصباح يعمل (بالكيروسين) ، نرى طيفاً متصلا على طول المسافة الممتدة من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجى ، ولكننا نستطيع أن نثبت أن هذا الطيف المتصل لا ينشأ فى الواقع عن الغازات الساخنة الموجودة فى اللهب ، ولكنه ينشأ عن الجسيمات الصلبة المنبثة فيه . ولو أننا استطعنا أن نحقق احتراقاً كاملا للغاز ، كما هو الشأن فى مصباح بنزن Bunsen ، الذى صنعه عالم الفيزياء الألمانى روبرت ولهلم بنزن (١٨١١ — ١٨٩٩) لحصلنا على لهب تشع منه ، نظراً لعظم حرارته ، كميات ضئيلة من الضوء . ولقد استخدم بنزن مصباحه (أو موقده) فى دراسة إشعاعات المواد المختلفة عندما تكون فى الحالة الغازية . فعندما ندخل إلى لهب مصباح بنزن كمية صغيرة من الصوديوم (يمكن أن تكون على هيئة كلورور الصوديوم ، أى ملح الطعام العادى) يلمع هذا اللهب بالضوء الأصفر . وعندما نعمد إلى تحليل ذلك الضوء بوساطة المنشور على طريقة إسحق نيوتن القديمة ، نجد أن الطيف إنما يتكون من خط واحد أصفر ، على حين لا يوجد أثر لجميع الأمواج الأخرى — شكل (٤ — ١٤ ا) .

وعندما نجرى تجربة مماثلة مستخدمين البوتاسيوم ، الذى يسبغ على اللهب لوناً ناصعاً أحمر ، يعطى خطاً أحمر اللون إلى يمين الطيف . وتعطى المواد الأخرى عندما تتحول إلى أبخرة فى لهب مصباح بنزن ألواناً أخرى من الخطوط ، التى تبدو فريدة أحياناً ، كما تبدو فى مجموعات أحياناً أخرى .

وهنا يجدر بنا أن نتساءل : لماذا تشع الغازات الساخنة ضوءاً له أطوال أمواج معينة بالذات (أو فى تعبير آخر له ذبذبات لا تحيد عنها) ، على حين نجد أن المواد الصلبة أو السائلة تشع السلم الكامل لجميع أطوال الأمواج التى تكون طيفاً متصلا ؟ وكما سيتضح لنا فيما بعد فى هذا الكتاب ، يمكن تشبيه ذرة الجزىء بآلة موسيقية ، ويقتصر الفرق بينهما على أن الذرة ترسل موجات ضوئية بدلا من أمواج الصوت . وتبنى الآلة الموسيقية ، سواء كانت مثلا شوكة رنانة صغيرة أو بيانو من النوع الكبير ، بطريقة تجعلها لا تعطى سوى أنواع متباينة من ذبذبات الصوت المختارة (ذبذبة واحدة فى حالة الشوكة الرنانة والعديد من الذبذبات فى حالة البيانو



شكل (٤ — ١٤)

(ا) عند ما ندخل الصوديوم إلى لهب ساخن ، نجده يشع خطا لامعا مميزا أصفر اللون .

(ب) ولكن الضوء الأبيض، الصادر عن قوس كهربية ويضم شتّى الأمواج ، عند ما يمرر خلال لهب يحتوى على الصوديوم ، يعطى خط امتصاص مظلم مكان خط الإشعاع اللامع .

الكبير) ، التى عندما تنبعث ذبذبة بعد أخرى ، تكون لحناً عذباً . وكذلك ترسل الذرات والجزيئات مجموعة مختارة من أطوال الأمواج التى تميز كل ذرة . وتنتشر ذرات أو جزيئات الغازات حرة طليقة فى الفضاء ، ومن آن لآخر يتصادم بعضها ببعض ، وفى كل تصادم يتم تحدث لها استثارة (عندما تكون درجة الحرارة عالية علوًّا كافياً) ، فتنطلق وهى تتذبذب وتشع موجات الضوء المميزة لها . وعلى ذلك فإن بخار الصوديوم ، والنحاس ، والحديد أو أى معدن آخر ، يشع خطوط طيف مميزة ، يمكن التعرف بها عليه . ولكن فى حالة المواد الصلبة نجد أن الذرات تكون مكدسة بعضها مع بعض ، ويشابه هذا الوضع إلى حد كبير حالة الزكيبة الكبيرة التى نكدس داخلها جميع آلات الفرقة الموسيقية المعدة للإيقاع الموسيقى (سيمفونية) تكديساً يجعل بعضها فوق بعض . فعندما نهز الحقيبة نسمع صخب الآلات المكون

من جميع الذبذبات . ولا يفيدنا هذا الصخب بشيء فى التعرف على صفات الأجهزة الخاصة الموجودة بالحقيبة . وبالمثل نجد أن الذرات المكلسة فى قطعة من المعدن أو أى مادة أخرى صلبة (أو سائلة) تفقد كلية خصائص نغماتها النقية ، فلا يكاد يختلف الضوء الذى يرسله الحديد الذى احمر من الحرارة فى شيء عن الضوء المنبعث من النحاس المحمر بالحرارة ، أو أى شيء آخر ارتفعت درجة حرارته حتى بدا أحمر اللون .

وإن ما تتميز به المواد المختلفة من الإشعاع الضوئى يمثل الأساس الذى تقوم عليه إحدى وسائل التحليل الطيفى الهامة ، التى تتيح لنا فرصة تعرف التركيب الكيموى لأى مادة تعطى لنا ، وذلك من مجرد ملاحظة الضوء الذى تشعه أبخرتها .

امتصاص الضوء

لنعد الآن إلى تجربتنا — شكل (٤ — ١٤ ا) — التى استخدمنا فيها مصباح بنزن وجعلنا لهبه يحتوى على بعض الصوديوم ، ولنفرض أننا وضعنا خلف اللهب مصدراً قوياً جداً للضوء يعطى طيفاً متصلا ، مثل القوس الكهربية شكل (٤ — ١٤ ب) — فإن الضوء ، المنبعث من قطب القوس الكهربية عندما يبيض من الحرارة ، يمر خلال اللهب ليسقط على الفتحة الضيقة ، ويكون حزمة قوس قزح فى جهاز المطياف (السبكتروسكوب) ، الا أننا نلاحظ هنا أن الاستمرار اللونى يقطعه خط مظلم ضيق يقع تماماً حيث كان يوجد خط الصوديوم الأصفر . ويرجع سبب هذه الحالة إلى ظاهرة هامة يقال لها « الرنين » ، ونحن نصادف هذه الظاهرة فى جميع الحالات التى نعالج فيها نوعاً من الذبذبة أو التردد . خذ مثلا طفلا ركب بمعرفة أبيه أرجوحة فى حديقة الأطفال ، إذا ما عمد الأب إلى دفع الأرجوحة بانتظام فى فترات تساوى الفترة منها نفس زمن ذبذبة الأرجوحة ، فإن سعة الحركة سوف تتزايد على التدريج ، وينجم عن ذلك إما أن يسعد الطفل أو يفزع . ولكن إذا كان الأب قد أذهله جمال ممرضة تقف بجواره ولم يدفع الأرجوحة بانتظام ، فإن مجهوده سوف لا يثمر ، فتجده يدفع الأرجوحة أحياناً وهى تبتعد عنه فيساعد على ترنحها ، ثم يعود فيدفعها أحياناً أخرى وهى تقترب منه ، وبذلك يقلل من حركتها . وعلى أية

حال فإن زيادة سعة ذبذبة أى جسم إنما تتطلب استخدام القوة خلال فترات معينة تساوى الفترة منها زمن ذبذبة الجسم . وإذا ما ثبتنا شوكتين رنانتين متطابقتين فى كل شيء بحيث تفصلهما مسافة قصيرة ، ثم جعلنا إحداهما تتذبذب بأن طرقناها بمطرقة، فإننا نجد أن موجات الصوت المنبعثة منها سوف لا تلبث أن تكسب الشوكة الأخرى نفس الحركة . ولكن إذا كان تردد الشوكتين مختلفاً فسوف لا يحدث أى أثر . وكذلك عندما نريد ضبط الموجة (أو الذبذبة) فى جهاز الراديو أو التليفزيون على محطة نرغبها ، ندير (الأكرة) التى تجعل تردد الجهاز المستقبل مساوياً لتردد (أو ذبذبة) المحطة المذيعة .

وتقع تجربتنا على اللهب المحتوى على الصوديوم تحت نفس هذا (البند) ؛ إذ يتفق تردد ذرات الصوديوم — أو يحدث ما يشبه الرنين — بالنسبة لطول موجة (أو أطوال موجات) فى طيف القوس المتصلة ، وهى نفسها الموجات التى يمكن أن ترسلها تلك الذرات ، فتعمل على تناثر هذه الموجات فى الاتجاهات كافة ، وبذلك تضعف الحزمة الأصلية . وليس من شك أن خط الامتصاص الأسود لا يكون فى هذه الحالة مسوداً تماماً . وفى الواقع قد يصادف أن يكون أكثر لمعاناً من خط الإشعاع الأصلى، إلا أنه يبدو مظلماً بالنسبة لأجزاء الطيف المتصل الأخرى التى ترسلها القوس . والذى اكتشف القانون الذى يعبر عن هذه الظاهرة ويقول : « تمتص جميع الأجسام نفس ذبذبات الضوء التى يمكنها إشعاعها» هو عالم الفيزياء الألمانى جستاف كرشوف (١٨٢٤ — ١٨٨٧) ، وهو يعرف حتى اليوم باسمه . ولهذا القانون أهميته العظمى فى كثير من دراسات الفيزياء والكيمياء ، والفلك . ومن أهم استعمالاته استخدامه فى دراسة التركيب الكيموى للشمس وغيرها من النجوم .

وفى أوائل القرن التاسع عشر عندما أعاد عالم الفيزياء الألمانى چوزيف فراونهوفر (١٧٨٧ — ١٨٢٦) إجراء تجارب نيوتن على طيف الشمس ، مستخدماً فى هذه المرة أنواعاً أرقى من المنشورات ، أدهشه أن يرى ألوان قوس قزح يقطعها عدد كبير من الخطوط السوداء الضيقة جداً . ونحن نستطيع الآن أن نفهم بسهولة أصل « خطوط فراونهوفر » هذه ، على الأسس التى ذكرناها فى ابتداء هذا الجزء من الكتاب . فلقد سبق أن قلنا إنه بالرغم من أن جسم الشمس يتكون كله من مادة

غازية ، إلا أنها تشع طيفاً متصلا ، وذلك لمجرد تزاحم الذرات وتكدسها إلى الدرجة التى (لا يبقى لها مكان لمرفق لتعرض أقواسها من غير التداخل مع ما جاورها من لاعبين) . ولكن الطبقة الخارجية لجسم الشمس ، المعروفة باسم الكروموسفير ، تتكون من غازات ساخنة عظيمة التخلخل ، وتحدث فعلا نغمات ضوئية نقية . وعندما يمر الطيف المتصل المنبعث من الفوتوسفير (أو جسم الشمس الكثيف) خلال الكروموسفير ، يتم امتصاص وتناثر الأمواج التى تنتمى أطوالها إلى المواد الكيموية الموجودة فيها ، وهكذا تظهر خطوط فراونهوفر المظلمة فى قوس قزح الأصلية الخالية من البقع . ولقد أدى استخدام التحليل الطيفى إلى تقدم هائل وزيادة ملموسة فى معلوماتنا عن الشمس والنجوم ، وفتح أمام أعين البشر آفاقاً لا حدود لها عن الكون الذى نعيش فيه . وتبين اللوحة رقم (٢) طيف الشمس لفراونهوفر . ولقد تم الحصول على الجزء المرئى (ا) وجزء الأشعة فوق البنفسجية (ه) باستخدام الأجهزة الحديثة .

الباب الخامس

عصر الكهرباء

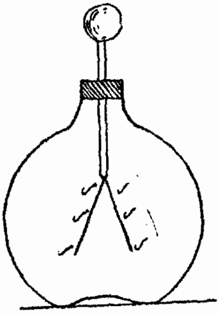
الكشوف الأولى

عرف قدماء الإغريق ظاهرتى الكهرباء والمغناطيسية – كما ذكرنا فى الباب الأول – ومن المحتمل أن تكون سائر الحضارات القديمة قد عرفتهما كذلك. ولكن لم تبدأ الدراسة المنظمة لهما إلا فى أوائل عصر نهضة الفنون والعلوم. ولقد أجرى السير وليم جلبرت، الطبيب الشخصى للملكة اليصابات الأولى، دراسات دقيقة على تداخل القوى المغناطيسية، ونشر نتائج دراساته فى كتاب (دى ماجنيتى De Magnete) الذى تضمن تفاصيل كل الصفات الكيفية الهامة للمغناطيس. وكان جلبرت هذا من المؤمنين بنظام كبرنيق للعالم والمتحمسين له، وكم كان يتمنى أن تفسر القوى التى تبقى على الكواكب فى أفلاكها من حول الشمس على زعم أنها من قوى التجاذب المغناطيسى. ولكى يتمكن من دراسة هذه المسائل عن كثب، عمد إلى صنع كور من الماجنيتيت (خام الحديد المغناطيسى)، ثم راح يدرس المجال السائد حولها باستخدام إبر مغناطيسية صغيرة (بوصلات) موزعة على نقط مختلفة موجودة على أبعاد متباينة من حول الكور، فوجد أنه عند نقطة بالذات على سطح الكرة يبلغ التجاذب أقصى حد له بالنسبة لطرف معين من أطراف الإبرة. وعند النقطة التى تقابلها على جانب الكرة الآخر يبلغ التجاذب أقصى قيمة له بالنسبة للطرف الثانى للإبرة. كما أن الإبرة تأخذ دائماً اتجاهاً خاصاً عند ما توضع عند أى نقطة على الكرة، هذا الاتجاه تعينه الدائرة العظمى التى تصل بين نقطتى أقصى التجاذب، أو قطبى الكرة المغناطيسية. ولا يختلف هذا فى شىء عن الأوضاع التى تأخذها إبرة البوصلة فى جهات متفرقة من الأرض، مما حمل جلبرت على اعتبار الكرة الأرضية بمثابة المغناطيس الهائل الذى يقع قطباه غير بعيد عن القطبين الجغرافيين الشمالى والجنوبى. وظلت هذه الفكرة قائمة خلال أجيال برمتها، وعندما

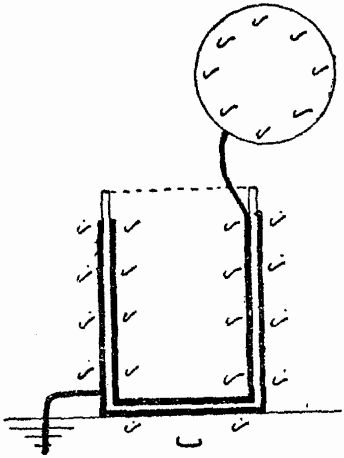
توسع فى دراستها رياضياً عالم الرياضة الألمانى العظيم كارل فريدريك جاوس تمخضت دراساته فى عصرنا هذا عن الفكرة الأساسية للمغناطيسية الأرضية . على أننا نجد من ناحية أخرى أن محاولات جلبرت لجعل القوى المغناطيسية مسئولة عن دوران الكواكب من حول الشمس قد باءت بالفشل والخذلان، وحتى لم يمض عليها أكثر من نصف قرن حتى فسر نيوتن ذلك الدوران بقوى الجاذبية العالمية ، التى لا صلة لها بالمغناطيسية .

وخلال المدة التى فرغ فيها نيوتن من بلورة آرائه الخاصة برباط الجاذبية العالمية ، وظل يحتفظ بسرها ، حاول عالم الفيزياء الألمانى أوتو فون جرك، الذى اشتهر بتجاربه المعروفة باسم أنصاف كرات مجدبورج (تجارب على نصفى كرتين مفرغتين من الهواء) وموضوعتين معاً ، ولم يكن فى مقدور مجموعتين من الخيل جرهما وفصلهما،وعمل على تفسير التجاذب المتبادل بين الكواكب والشمس عن طريق القوى الكهربية . ورغم أنه أخفق فى عمله هذا ، تماماً كما أخفق زميله جلبرت فى محاولته، إلا أنه توصل إلى كشوف عديدة هامة تتعلق بصفات الشحنات الكهربية وخصائصها . وقد وجد أنه بينما يجذب الكهرمان ويلتقط الأجسام الخفيفة التى على غرار قطع الورق الصغيرة ، فإن أى جسمين خفيفين عند ما يلمسان الكهرمان يتنافران . وتوصل كذلك إلى أنه يمكن نقل الشحنة الكهربية من جسم إلى آخر ، ولا يستدعى ذلك ضرورة الاتصال المباشر ، ولكن يكفى توصيلهما بحبل مندى بالماء ، ويفضل هذا الوضع توصيلهما بسلك معدنى . وعند ما واصل دى فاى دراسات الظواهر الكهربية خلال القرن الثامن عشر توصل إلى اكتشاف وجود نوعين من الكهربية : نوع يتولد عن طريق دلك الكهرمان ، والشمع الأحمر ، والمطاط الصلب ، وغيرها من مواد راتنجية أو قلفونية ، ونوع يتولد بدلك المواد الزجاجية التى على غرار الزجاج والميكا ، وأطلق على هذين النوعين من السيال الكهربى اسم (الراتنجية) و (الزجاجية) ، كما توصل إلى معرفة أن الشحنات الكهربية المتجانسة تتنافر ، فى حين تتجاذب الشحنات المختلفة . وكان المعتقد أن الأجسام التى فى حالة التعادل الكهربى تحتوى على مقدارين متزنين من نوعى السيال الكهربى ، فى حين تحتوى الأجسام المشحونة بالكهرباء على مزيد من

الكهربية (الزجاجية) أو (الراتنجية) . وعند ما شاهد أوتو ڤون جريك هذه الظواهر لأول مرة فسرها كتفاعل بين نوعي السيال الكهربي . فمثلا عندما ندلك كرة من المطاط الصلب حتى يتم شحنها بالكهربية الراتنجية ، ثم نقرب منها جسما صغيراً غير مشحون (يتعادل فيه نوعا الكهربية) ، فإن كهربيته الراتنجية تندفع بعيداً إلى طرف الجسم البعيد ، على حين تنجذب كهربيته الزجاجية إلى الطرف القريب . ولما كان التفاعل الكهربي بين النوعين يتناقص بازدياد المسافة . فإن قوى التجاذب التي تؤثر على الشحنات الزجاجية تكون أكبر من قوى التنافر الواقعة على الشحنات الراتنجية ، وتتمخض مجموعة هذه القوى عن تجاذب بين الجسمين . وعندما نستبدل بكرة المطاط الصلب أخرى من الزجاج ، نحصل على نفس النتيجة ، مع وضع الشحنات الراتنجية مكان الشحنات الزجاجية . وهكذا نجد أن الأجسام المتعادلة كهربيًّا تجذبها دائماً الأجسام المشحونة . وتعرف ظاهرة فصل الشحنتين من جسم متعادل أصلا باسم « الاستقطاب » الكهربي أو « التأثير » ، فعندما نلمس جسما كبيراً مشحوناً بالكهربية بجسمين صغيرين ، فإنه يتم شحنهما بنوع واحد من الكهرباء وعلى ذلك يتنافران عند أبعادهما .



أ



ب

شكل (٥ — ١)
(ا) الكشاف الكهربي (ب) زجاجة ليدن

ولقد تم اختراع جهازين كهربيين هامين خلال تطور دراسة هذه الظواهر

الكهربية هما : الكشاف الكهربى ذو الورقتين ، وزجاجة ليدن . وتم بناء الكشاف الكهربى– شكل (٥ – ١) –، أى الجهاز الذى يبين وجود الشحنة الكهربية لأول مرة عام ١٧٠٥ على يد هوكيسبى ، وكان يتكون من عودين هشين من القش أو التبن ، يعلقان جنباً إلى جنب فى الطرف الأسفل لقضيب معدنى . وعند ما يشحن القضيب بنوع من الكهرباء (الزجاجية) أو (الراتنجية) ، تنتقل هذه الشحنة المتجانسة إلى عودى القش أو التبن فيتنافران . ونحن ما زلنا نستخدم هذا الجهاز فى عصرنا هذا ، مع إبدال عودى القش بأوراق من الذهب أقل وزناً بكثير منها . وكان الغرض من تصميم زجاجة ليدن ، التى صنعت عام ١٧٤٥ بمعرفة جماعة من علماء جامعة ليدن (بهولندا) ، هو الحصول على مقادير هائلة من الكهربية . وكانوا يصنعونها من أسطوانة عادية من الزجاج ، يغطى سطحها الداخلى والخارجى بأوراق الفضة الرقيقة .

وعند ما يوصل غطاء الفضة الخارجى بالأرض ، على حين يوصل الغطاء الداخلى بجسم مشحون، والعكس بالعكس ، تحاول الكهرباء (سواء أكانت من النوع الزجاجى أم الراتنجى) التسرب إلى الأرض ، إلا أن طبقة الزجاج تحول دون حدوث ذلك ، وبذلك يتم تجميع مقادير هائلة من الكهربية فى الجهاز ، ويمكن الحصول على شرارات قوية عند توصيل أوراق الفضة الداخلية بطبقة الأوراق الخارجية بوساطة سلك معدنى . ولقد تم تطوير زجاجة ليدن القديمة فى هذا العصر إلى عينات متباينة من المكثفات ، التى تتكون من عدد وفير من الألواح المعدنية التى تفصل بينها طبقات رقيقة من الهواء أو الزجاج أو الميكا . وتستخدم مثل هذه المكثفات التى يمكن أن تخزن مقادير هائلة من الكهرباء ، فى شتى مجالات الفيزياء وفنون الكهرباء . ونذكر على الأخص من هذه المجالات أن أول محطم للذرة ، الذى شيد عام ١٩٣٠ فى جامعة كمبردج على يد جون كوكروفت و إ . ت . س . والتون ، كان يتكون من بطارية من مثل هذه المكثفات تشحن إلى مليون ڤولت .

وعندما تفرغ المكثفات خلال أنبوبة من الزجاج تحتوى على غاز الأيدروچين ، كانت تحدث « قذائف ذرية » لها من الطاقة العالية ما يمكنها من قذف ذرات

الليثيوم التى فى الهدف الموجود فى طرف من أطراف الأنبوبة وشطرها إلى نصفين اثنين .

وتنتمى لنفس تلك الحقبة من الزمان أعمال السياسى والكاتب الأمريكى العظيم بنيامين فرانكلين ، الذى اجتذبته علوم الفيزياء عند ما اكتمل نضجه الفكرى فى الأربعين من عمره ، ولم يقنع بتلك الشرارات الصغيرة التى يمكن الحصول عليها بدلك الحف بوساطة رداء من الفرو مثلا ، ورغب فى التسلى بشرارات أكبر من ذلك بكثير ، على غرار تلك التى كان زيوس يقذف بها من السحب خلال عواصف الرعد . ولذلك عمد إلى إرسال الطيارات * إلى السحب الركامية التى يتولد فيها الرعد لكى يجمع منها ما يشاء من الكهربية . وكان الحبل الذى تشد إليه الطيارة يقوم مقام الموصل الجيد للكهربية ، فاستطاع أن يشحن بها زجاجة ليدن ، وأن يستخلص منها بعد ذلك الشرارات الكهربية . ولقد أكسبته دراساته التى جمعها فى كتابه (تجارب وأرصاد الكهرباء التى أجريت فى فيلادلفيا بأمريكا — ١٧٥٣) الفوز بعضوية المجمع الملكى بلندن ، وكذلك الانتساب إلى الأكاديمية العلمية الملكية بباريس . ورغم ما صادفه من نجاح بتحديه لزيوس فى تجاربه على هذا النحو ، نجد أنه لم يوفق تماماً فى دراساته النظرية المتعلقة بتفسير الظواهر الكهربية عند ما أدخل الفرض القائل بعدم تعدد نوع السيال الكهربى . فقد ذهب إلى أن الكهربية « الزجاجية » هى النوع الوحيد الذى يمثل هذا السيال ، وأن الاختلاف فى نوعى الشحنة إنما ينجم عن الزيادة أو النقص فى ذلك السيال الذى لا تدركه الأبصار . وعلى هذا الأساس كان يسمى الجسم المحتوى على المزيد من الكهربية (الزجاجية) — كما يحدث عند دلك عصا من الزجاج — باسم الجسم الموجب الشحنة ، كما كان يسمى الجسم الذى ينقصه جانب من هذه الكهربية — كما يحدث عند دلك عصا من المطاط — باسم الجسم السالب الشحنة . وعند ما يتصل جسمان يتميز أحدهما بالمزيد من السيال الكهربى بينما يتميز الثانى بالنقص فى هذا السيال (الجامعة الزجاجية) ، فإنه من اللازم أن يسرى التيار الكهربى من الجسم الأول حيث يوجد منه المزيد إلى الجسم الثانى حيث يعم النقص . ولقد حدت أفكار بنيامين فرانكلين هذه بالعلماء وقادتهم إلى اتخاذ التسمية الحديثة التى يقولون

---

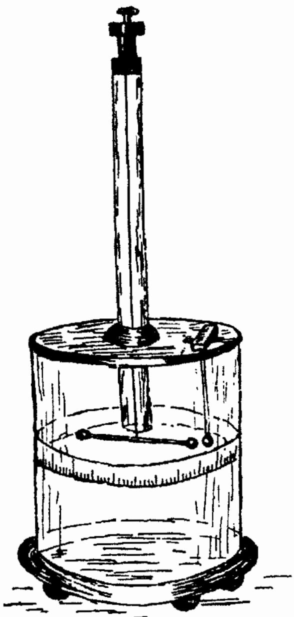
* لاحظ أن الطيارات غير الطائرات ، فهى ما يلهو به الصبية ويشدونها بالحبال . (المترجم)

فيها إن التيار إنما يسرى من القطب الموجب (الأنود) أو المصعد إلى القطب السالب (الكاثود) أو المهبط . ونحن فى عصرنا هذا نعرف تماماً أن رأى دى فاى الخاص بوجود نوعين من السيال الكهربى هو رأى أقرب للحقيقة والصواب من رأى فرانكلين ، رغم أن الموقف هو فى الواقع أكثر تعقيداً بكثير عن تلك الصور التى رسمها كل منهما . فهنالك جسيمات موجبة الشحنة ، كما أن هنالك جسيمات أخرى شحناتها سالبة ، ويقابل كل جسيم يحمل شحنة طبيعية موجبة أو سالبة — جسيم آخر (من المادة المضادة) يحمل شحنة معتادة مضادة. ومهما يكن من شىء فإن فرانكلين كان أقرب للحقيقة فى حالة التيار الكهربى الذى يسرى فى الأسلاك ، حيث إن انتقال الكهربا إنما ينجم إجمالا عن حركة الكهارب (الإلكترونات) ، إلا أن هذه الكهارب تحمل معها كهربية (راتنجية) وليست (زجاجية) . ونحن نسمع أحياناً فى هذا العصر بعض الآراء التى تنادى بتغيير اسم الكهربية الموجبة والسالبة بحيث يطابق الاتجاه التقليدى للتيار من + إلى — من شتى الوجوه الاتجاه الذى تتحرك فيه الكهارب (الإلكترونات) ، وعلى أية حال إذا ما تم ذلك فإن محطمات الذرة ، التى تقذف ببروتونات طاقاتها عالية فى الأهداف الذرية ، يصيبها بعض المتاعب ، فبدلا من أن ينطلق التيار الكهربى من محطم الذرة يكون عليه أن ينساب إليه قادماً من الهدف . كما أنه فى حالة السوائل ، حيث تحمل الكهرباء بمقادير متساوية بوساطة الأيونات الموجبة والسالبة التى تتحرك فى اتجاهين متضادين ، لن يعيننا هذا التغيير فى التسمية على تفهم الأمور وتتبعها بحال من الأحوال .

قانون القوى الكهربية والمغناطيسية

وفى خلال النصف الثانى من القرن الثامن عشر استخدم كثير من البلاد علماء الفيزياء فى الدراسة الكمية للقوى الكهربية والمغناطيسية . ومن أوائل الكشوف الهامة التى ظهرت فى هذا الميدان ما تم على يد عالم الفيزياء الفرنسى شارل أوجستين كولوم ، مكتشف « ميزان اللى » الذى يستخدم فى قياس القوى الضعيفة جداً . وكما نرى فى شكل (٥ — ٢) الذى يمثل جهاز كولوم هذا ، يتكون الميزان من قضيب

خفيف يعلق فى طرف خيط رفيع طويل ، وتوجد فى طرفى القضيب كرتان متزنتان ، وعندما لا تتعرض الكرتان لتأثير أى قوى خارجية يأخذ القضيب اتجاهاً خاصًّا يستقر فيه . وعند ما تشحن كرة منهما بالكهربية ثم تقرب منها كرة أخرى مشحونة،

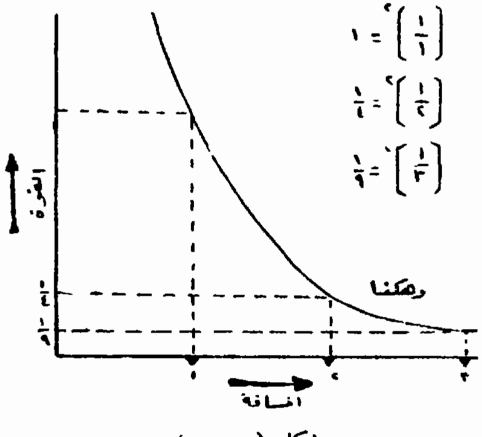


شكل (٥ – ٢)
ميزان اللى لكولوم

ترغم القوى الكهربية (المؤثرة فى الكرة المتحركة) وتجبر القضيب على اللف والدوران حول نقطة التعليق حتى يتم التوازن بين هذه القوة المؤثرة وقوى اللى فى الخيط . ولما كان الخيط رفيعاً جدًّا فإن أى قوة مهما صغرت قيمتها عند ما تؤثر فى الكرة تحدث انحرافاً كبيراً فى وضع القضيب ، وتتناسب زاوية الانحراف هذه طرداً مع القوة المؤثرة . ولقد استطاع كولوم عن طريق شحن الكرات المتحركة والكرات الثابتة بمقادير متغيرة من الكهربية ، وكذلك عن طريق تغيير المسافات بينها ، أن يتوصل إلى القانون الذى يحمل اسمه ، والذى يقول إن قوى التجاذب والتنافر الكهربى تتناسب تناسباً طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين ، وتتناسب تناسباً عكسيًّا مع

مربع المسافة بينهما — شكل (٥ — ٣) — وباستخدام هذا القانون يمكن تعريف وحدة شحنة الكهرباء الستاتيكية (أى الساكنة)، وهى التى تسمى (الكتروستاتيك) بأنها الشحنة التى تؤثر بقوة تساوى «داين واحد» على شحنة أخرى مساوية لها وموضوعة على بعد سنتيمتر واحد منها . ولكننا فى حياتنا العملية نستخدم وحدة أكبر من ذلك بكثير للتعبير عن الشحنة الكهربية ، هذه الوحدة هى (الكولوم) ، وهى تعادل ثلاثة بلايين ضعف الوحدة الكهربية الستاتيكية التى عرفناها سابقاً .

وعند ما استخدم كولوم نفس ميزان اللى هذا، وعلق فى الخيط قضيباً مغناطيسياً، ثم ثبت مغناطيسا آخر فى وضع رأسى وفى أعلى الغطاء ، استطاع كولوم أن يثبت أن نفس هذا القانون يسرى أيضاً فى حالة القوى المغناطيسية . وعلى هذا الأساس أمكن تعريف (وحدة التمغطس) بأنها شدة القطب المغناطيسي الذى يجذب أو يطرد قطباً آخر مساوياً له فى الشدة وعلى بعد سنتيمتر واحدمنه بقوة تساوى «داين واحد» .



شكل (٥ — ٣)
رسم بيانى لقانون كولوم

وفى حدود تلك الفترة كذلك عاش فى إنجلترا شخص على جانب كبير من العزلة والنسك ، يقال له هنرى كافندش (ابن أمير بريطانى) ، فلم يكن له أصدقاء مقربون ، كما كان يخشى النساء ، أما الخادمات اللاتى كن يعملن فى بيته الفسيح فى أحد أجزاء لندن المسمى (كلافام كومون) فكن يؤمرن بعدم التعرض له أو الظهور أمامه ، وكان يصدر إليهن تعليماته الخاصة بوجبات طعامه

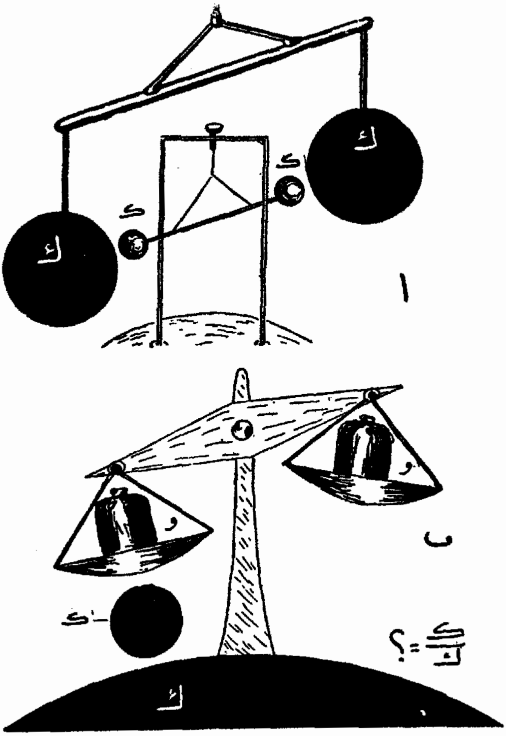
عن طريق وريقات يكتبها ويتركها على المنضدة الموجودة ببهو المنزل . ولم تكن تستهويه الموسيقى ولا يغويه الفن بحال من الأحوال ، وأمضى جميع وقته فى إجراء تجارب الفيزياء والكيمياء فى معمل خاص بمسكنه الفسيح . ولم يكن يكدر صفو هدوئه وعزلته فى عمله سوى الجولات التقليدية للأغراض الصحية ، وحضوره من آن لآخر حفلات غداء نادى الجمعية الملكية ، لكى يقف على ما يفعله غيره من المشتغلين بالفيزياء والكيمياء . ولم تنشر خلال حياته الطويلة (مات فى التاسعة والسبعين) سوى حفنة من الأوراق التى ليس لها أهمية تذكر . ولكن بعد موته عثر فى حسابه فى البنك على ما يقرب من مليون جنيه استرلينى ، وعشرين حزمة (رزمة) من المذكرات العلمية فى معمله . وبقيت تلك المذكرات فى حوزة أقربائه مدة طويلة ، ولكن عند ما نشرت ، بعد مضى نحو مائة سنة من ذلك التاريخ ، وضح تماماً أن هنرى كافندش كان واحداً من كبار رجال العلوم التجريبية الذين ظهروا على الأرض . فقد أماط اللثام عن جميع قوانين القوى الكهربية والمغناطيسية فى نفس الوقت الذى كشفها فيه كولوم ، وتعادل أعماله فى الكيمياء ما أنتجه لافوازييه . وبالإضافة إلى كل هذا استخدم ميزاناً من أجل دراسة قوى الجاذبية الضئيلة إلى أقصى حدود الضآلة ، على غرار تلك التى تؤثر بين الأجسام الصغيرة ، وتوصل على أساس هذه التجارب إلى تعيين قيمة صحيحة لكتلة الأرض — شكل (٥ — ٤) . ورغم أن اسمه لم يطلق على أى وحدة من الوحدات المستخدمة فى الفيزياء ، فإن معمل كافندش بجامعة كمبردج هو من أشهر مراكز الدراسات العلمية فى العالم .

رعدة أو هزة من ثعبان الماء المكهرب

كان أهالى أفريقيا وأمريكا الجنوبية منذ أمد طويل يألفون نوعاً من أنواع سمك الأنهار الاستوائية، يسبب لمن يمسكه بيده هزة أليمة . وفى أواسط القرن الثامن عشر أحضرت سفينة بريطانية إلى لندن عينات عديدة من هذه الأسماك ، وراح علماء الحياة يدرسونها فوجدوا أن الهزة إنما تحدث فقط عند لمس مقدمة رأس السمكة

أو الجانب السفلى من جسمها باليد . واستعادت هذه الحقيقة والشعور الذى تحدثه الهزة ذكر عمل زجاجة ليدن . التى كانت قد اكتشفت آنئذ — وأطلق على السمكة اسم خلية الكهرباء (سبريس الكترونكس sirius electronicus) . وعند ما ثبت أن تلك السمكة يمكن أن تشحن زجاجة ليدن لم يبق هناك شك فى أن المسألة عبارة عن تفريغ كهربى . ولقد أثارت الكهربية التى تولدها السمكة اهتمام عالم الفيزياء الإيطالى لوجى جلڤانى ، الذى كان منكبًا على دراسة تقلص عضلات سيقان الضفدعة ، التى يطيب تقديمها فى مطاعم بولونيا . وتقول الرواية إنه لاحظ مصادفة أن سيقان الضفدعة التى يقدمونها فى تلك المطاعم ، وكانت معلقة فى خطافات من النحاس مثبتة على القضبان الحديدية لشرفته ، تهتز كأنما قد دبت فيها الحياة كلما لمست القضبان الحديدية ، وعند ما حاول جلڤانى التثبت من ذلك « تحت حالات يمكن التحكم فيها » أجرى تجربة أدرجت بتاريخ ٢٠ من سبتمبر عام ١٧٨٦ فى مذكرة معمله ، استخدم فيها شوكة لها شعبة من حديد وشعبة من النحاس فى لمس عصب وعضل ساق الضفدعة ، وفى كل مرة لاحظ سرعة تقلص الساق ، فتبين جلڤانى أن هذه الظاهرة تحكى الهزة أو الرعشة التى تسببها الخلية الكهربية . ومهما يكن من شىء فقد أخطأ تماماً فى رأيه هذا ، وسرعان ما أثبت صديقه عالم الفيزياء الإيطالى الساندرو ڤولتا أن أصل التيار الكهربى الذى يسبب تقلص ساق الضفدعة ظاهرة غير عضوية بتاتاً ويمكن مشاهدتها دائماً ، وذلك عند وضع طرفى سلك مكون من سلكين ملحومين معاً أو غمسهما فى محلول ملح فى الماء ، وأطلق ڤولتا على هذه الظاهرة اسم (جلڤانزم galvanism) أو الجلفنة تكريماً وتشريفاً لقدر صديقه العالم الفسيولوجى ، وشيد ما يطلق عليه اسم « عمود ڤولتا » باستخدام عدد وفير من أزواج صفائح النحاس والحديد أو النحاس والزنك بعضها فوق بعض ويفصل بينها طبقات من القماش المندى فى محلول الملح . ولم يكن (عمود ڤولتا) هذا سوى النموذج الأول للبطاريات الكهربية الحديثة التى نستخدمها فى الإضاءة وفى غيرها من الأمور .

وفى عام ١٨٠٠ بعث ڤولتا بأصول بحثه التى يصف فيها كشوفه ومخترعاته إلى جمعية



شكل (٥ — ٤)

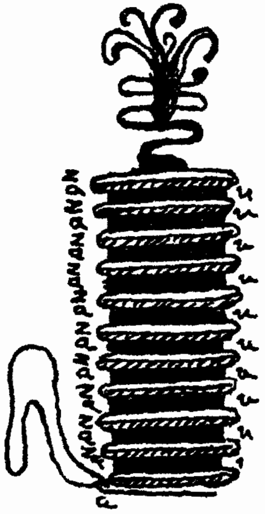
كان جهاز كافندش لقياس الجاذبية الأرضية يشابه جهاز كولوم لقياس القوى الكهربية . فعند تغيير وضع كتلتين كبيرتين ك معلقتين فى السقف (ا) يمكن رصد إزاحة كتلتين صغيرتين فى خيط رفيع جداً . ويبين (ب) طريقة كافندش المنقحة . فعندما تكون الكتلتان (و) فى حالة توازن تحت تأثير الجاذبية الأرضية (كتلة الأرض هى ك) ، نجدهما تتحركان عند وضع الكتلة الإضافية ك تحت كتلة منهما .

لندن الملكية ، وقد كانت بمثابة المركز العالمى لتبادل الآراء العلمية . ونجده يقول فى بحثه هذا :

نعم إن الجهاز الذى أحدثكم عنه ، والذى من غير شك سوف يثير دهشتكم ، ما هو إلا مجموعة من الموصلات الجيدة المختلفة الأنواع ، مرتبة بطريقة معينة ، ومكونة من ٣٠ إلى ٤٠ أو ٦٠ قطعة أو أكثر من النحاس ، وتفضله الفضة ، كل قطعة منها موضوعة فوق أخرى من القصدير أو الصفيح ، ويفضلهما بكثير

الزنك ، مع عدد متساو من طبقات الماء ، أو أى سائل آخر مائى يفضل الماء النقى فى توصيله للكهرباء ، كمحلول ملح الطعام أو ما على شاكلته ، أو حتى قطع من الورق المقوى أو الجلد ، أو ما على شاكلتهما ، بعد تنديتها جيداً بتلك المحاليل . وتفصل مثل هذه الطبقات بين كل زوج مكون من معدنين مختلفين فى المجموعة ، بشرط أن تتتابع هذه الأزواج مرتبة بنفس ترتيب أنواع هذه الموصلات الثلاثة ، وهذا هو كل ما يتركب منه جهازى الجديد الذى يحكى فى فعله وأثره نفس الأثر الذى ينجم عن زجاجات ليدن كما قلت ، أو نفس الأثر الذى توفره البطاريات الكهربية ، فيعطى نفس الهزات إلا أنه فى الحقيقة يظل أقل نشاطاً بكثير من البطاريات المذكورة عند شحنها بدرجة كبيرة ، من حيث شدة وصوت الفرقعات ، والشرارة ، والمسافة التى يمكن أن يحدث التفريغ خلالها وهكذا . . . وهو يعادل فقط فعل البطارية المشحونة لدرجة منخفضة تماماً ، أو فعل البطارية التى لها سعة عظيمة جداً ، إلا أنه إلى جانب ذلك يتفوق عليها إلى أقصى حد من حيث الفكرة والقوة : فهو لا يحتاج إلى شحنة كهربية خارجية كما هو الشأن فى البطاريات ، وهو قادر على إحداث هزة حينما يلمس مهما تعددت هذه اللمسات.. ولسوف أسرد لكم هنا المزيد من وصف هذا الجهاز ، وبعض الأجهزة الأخرى ، بالإضافة إلى أهم التجارب وأجدرها المتصلة بهذه الأجهزة . ويعطى شكل (٥ــ٥) رسمه الأصلى الذى مثل به ركام الصفائح .

وصادفه بعد ذلك سوء حظ عظيم ، فإن السيدين كارليل ونيكولسون ، وقد كانا مسئولين عن مطبوعات الجمعية الملكية ، حفظا أصل الرسالة ، وأعادا إجراء تجربة ڤولتا ، ثم نشرا النتائج باسميهما ، إلا أن هذه الحيلة لم تفلح ، لأن نتائج تجارب ڤولتا كانت قد عرفت عن طريق مصادر أخرى عديدة، وحوكم كل من كارليل ونيكولسون بتهمة سرقة تأليف الغير ، وانتهى أمرهما وراحا فى طى النسيان . واليوم تخلد ذكرى اسم هذا العالم الإيطالى بجهاز (عمود ڤولتا) ، و(الڤولت) الذى اتخذ وحدة لقياس فرق الجهد الكهربى . وفرق الجهد هذا هو الذى يعين لنا حدود أو درجة تكهرب أى جسم ، فعندما يكون لدينا مثلا موصل كهربى ضخم على هيئة كرة عملنا على شحنه بقدر معين من الكهرباء ، ثم رغبنا فى زيادة شحنته



شكل (٥ – ٥)

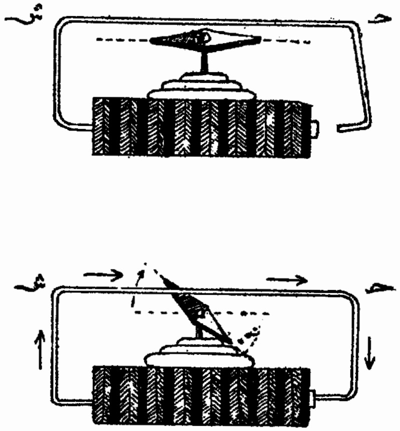
عمود ڤولتا

هذه ، فإننا نستطيع إنجاز ذلك بأن نعمد إلى كرة صغيرة من المعدن مشحونة بقدر معين من الكهرباء ، ومحمولة بوساطة ذراع مصنوعة من مادة عازلة ، ومثبتة على مسافة من الكرة الكبيرة (يلزم أن تكون هذه المسافة لا نهائية من الوجهة النظرية) ، ثم نقربها حتى تمسها ، فنظراً لما يحدث من تنافر بين الكرتين (كما وجد كولوم) ، نجد أنه يكون من الواجب علينا أن نبذل قدراً معيناً من الشغل من أجل الوصول بالكرتين إلى هذا التماس . ويسمى الشغل اللازم بذله من أجل زيادة شحنة الكرة الكبرى بمقدار الوحدة الكهربية باسم جهدها الكهربى ، ونحن عندما نقيس الشحنة بالكولوم والشغل بالجول ، يكون الجهد الكهربى مقدّراً أو مقيسا بالڤولت .

الكهرومغناطيسية

رغم أنه لم يكن بد من أن يشعر الدارسون الأولون للظواهر الكهربية والمغناطيسية بوجود علاقة قوية تربط بين هذه الظواهر فإنهم لم يوفقوا إلى تحديد معالم تلك العلاقة ، فالشحنات الكهربية لم يكن لها أدنى أثر فى المغناطيسات (كالقضبان المغناطيسية) ، كما أن هذه المغناطيسات لم تكن بدورها تؤثر فى الشحنات الكهربية .

ويرجع فضل الكشف عن الصلة القائمة بين الكهربية والمغناطيسية لعالم الفيزياء الدانماركي هانز كرستيان ارستد ، الذى حين سمع عن أعمال ڤولتا بادر ببناء ركام كهربى خاص به ، أجرى بوساطته تجارب مختلفة .



شكل (٥ — ٦)

اكتشاف ارستد للفعل الذى يحدثه التيار الكهربى على المغناطيس

وفى ذات يوم من عام ١٨٢٠ ، عند ما كان ارستد ذاهباً لإلقاء محاضرته فى جامعة كوبنهاجن خطرت له فكرة فحواها أنه رغم أن الكهربية الستاتيكية لا تؤثر فى المغناطيسات بأى طريقة من الطرق ، فربما يختلف الأمر عند ما يدرس تأثير الكهربية المتحركة فى السلك الموصل بين قطبي عمود ڤولتا . وعند ما وصل إلى قاعة المحاضرات التى كانت تعج بالعديد من الطلبة ، وضع ارستد على منضدة المحاضرات جهاز ڤولتا الذى فى حوزته ، ثم وصل طرفيه بسلك من البلاتين وقرب منه إبرة مغناطيسية ، فلاحظ أن هذه الإبرة ، التى يجب بطبيعتها أن تتجه من الشمال إلى الجنوب ، دارت حول محورها حتى استقر وضعها فى اتجاه متعامد على السلك — شكل (٥ — ٦) — ولم تثر تلك النتيجة اهتمام جمهور الطلبة ، إلا أن ارستد اهتم بها ، فبقى فى الغرفة بعد انتهاء المحاضرة ، وحاول التحقق من تلك الظاهرة غير الطبيعية التى اكتشفها . وكان أول ما خطر بباله أن سبب تلك الحركة ربما يكون

هو تيارات الهواء المنطلقة من حول السلك نتيجة تسخينه بمرور التيار الكهربى فيه . ولهذا عمد إلى وضع قطعة من الورق المقوى بين السلك والإبرة، أمكنه بها وقف التيارات الهوائية، إلا أن ذلك لم يغير من الوضع فى شىء ، وبعد ذلك أدار عمود ڤولتا خلال ١٨٠ درجة بحيث سرى التيار فى السلك فى الاتجاه المضاد ، وعند ذلك دارت الإبرة ولفت ١٨٠ درجة كذلك ، بحيث أصبح قطبها الباحث من الشمال مشيراً إلى الاتجاه الذى كان يشير إليه قطب الإبرة الجنوبى .

وهكذا اتضح له تماماً وجود علاقة قائمة بين المغناطيسات والكهربية المتحركة ، كما تبين له أن الاتجاه الذى تأخذه الإبرة الممغطسة إنما يعتمد على الاتجاه الذى يسرى فيه التيار الكهربى فى السلك . وكتب ارستد جميع هذه الحقائق والمشاهدات المتعلقة باكتشافه هذا ، وأرسلها للنشر فى الجريدة الفرنسية «آنالى دى شيمى إى دى فيزيك « Annales de Chimie et de Physique » ، وظهر المقال فى أواخر عام ١٨٢٠ ، مع تعليق المحررين الآتى :

لا بد أن قراء الآنالى قد لمسوا عدم استعدادنا لمؤازرة ونشر الاكتشافات *الغريبة، وحتى الآن لم يكن لنا إلا أن نهيئ أنفسنا على هذه الخطة ، أما بخصوص الورقة (أى البحث) المقدمة من السيد ارستد، فإن النتائج التى حصل عليها، مهما بدت فريدة فى حد ذاتها، إنما يتبعها تفصيلات عديدة ومتشعبة تدرأ وجود الشك بالخطأ.

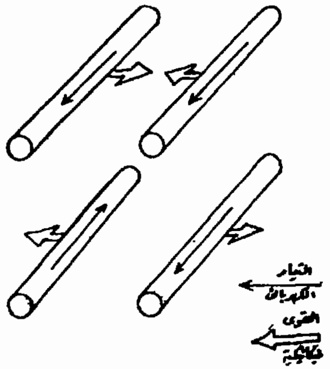
وهكذا أصبحت الكهرمغناطيسية (إلكترومانجتزم) — كما سماها ارستد — حقيقة واقعة .

وعند ما وصلت إلى باريس أخبار اكتشاف ارستد استرعت أنظار عالم الرياضة والفيزياء الفرنسى آندرى مارى أمبير ، الذى وجد فى مدى أسابيع معدودة أنه لا يقتصر تأثير التيار الكهربى على الإبرة الممغطسة فحسب ، بل إن أى تيارين كهربيين إنما يؤثر أحدهما فى الآخر كذلك ، فهنالك تجاذب بين أى سلكين متوازيين يسر فى كل منهما تيار كهربى فى اتجاه واحد ، أما إذا سرى تيار منهما فى الاتجاه العكسى للتيار الآخر فإنه يحدث تنافر بين السلكين — شكل

---

* ربما يرجع ذلك إلى أن أغلبها من عمل غير الموثوق بهم (المؤلف) .

(٥ — ٧) . وبرهن على أن الملف المصنوع من سلك النحاس عند ما يكون حر الحركة حول محور رأسى ، يأخذ تلقائياً اتجاه الشمال والجنوب عند ما يسرى فيه التيار تماماً كما لو كان هذا الملف إبرة مغناطيسية ، كما أثبت أن أى ملفين من هذا النوع يؤثر أحدهما فى الآخر تماماً كما يؤثر قضيب مغناطيسى فى قضيب آخر ، مما جعله يعتقد أن منشأ المغناطيسية الطبيعية تيار كهربى يسرى فى داخل الأجسام الممغطسة ، وتخيل أمبير على هذا الأساس أن كل جزىء يدخل فى تركيب المواد المغناطيسية إنما يحتوى فى داخله على تيار دائرى ، وعلى ذلك فهو يمثل « كهرمغناطيس » (أى مغناطيس كهربى) صغيراً جداً . فعندما تكون المادة غير ممغطسة يوجه كل كهرمغناطيس جزيئى حسبما اتفق ، فتأخذ الجزيئات شتى الاتجاهات وتصير حصيلتها فى مجموعها صفراً . أما فى الأجسام الممغطسة فإن المغناطيسات الجزيئية توجه بطريقة معينة ، ولو جزئياً ، فتصبح كلها أو بعضها فى اتجاه واحد وبذلك ينشأ تجاذبها أو تنافرها المغناطيسى .



شكل (٥ — ٧)
قوانين أمبير الخاصة بتأثير التيارات بعضها فى بعض

ولقد أيدت دراسات الفيزياء الحديثة جميع هذه الآراء لأمبير ، فهى تحيل الخواص المغناطيسية للذرات والجزيئات إلى الكهارب التى تدور من حول النواة ، أو تلف بسرعة حول محاورها . ونظراً لأن أمبير هذا كان أول من صاغ بوضوح فكرة التيار الكهربى ، وعبر عنه بحركة الكهرباء فى السلك ، فإن وحدة التيار

الكهربى تحمل اسمه . ويعرف الأمبير الواحد بأنه التيار الذى يحمل بين طياته عبر المقطع المستعرض للسلك قدراً من الكهرباء يساوى « كولوم واحداً ».

ولما كان عالماً كبيراً وفذًّا بالنظر إلى ما أنجز من أعمال ، فهو يعتبر كذلك مثلا تقليديًّا للأستاذ شارد الفكر ؛ إذ يقال عنه إنه كثيراً ماكان فى محاضراته يستخدم ممحاة الطباشير فى تنظيف أنفه ! ويروى عنه أنه كان مرة يسير فى شوارع باريس فاعتقد خطأ أن مؤخرة إحدى المركبات الواقفة هى سبورته المعتادة فراح يكتب عليها قوانين الرياضة . وعند ما تحركت المركبة مشى خلفها ثم أخذ يجرى معها مصمماً على إنهاء استنتاجاته الرياضية .

وحدث مرة عندما زار نابليون بونابرت أكاديمية باريس أن أمبير لم ينتبه إلى الإمبراطور ، فعلق نابليون مبتسما بقوله : « إنك ترى يا سيدى كيف أنه من الصعب ألاّ يرى المرء زميله دائماً ، ولكننى لم أرك قط فى التويليرى كذلك . إلا أننى أعرف كيف أرغمك على الحضور لتحيّى على الأقل » . ثم دعاه للعشاء فى السراى فى اليوم التالى ، ولكن فى ذلك اليوم ظل كرسى مائدة الطعام فى السراى شاغراً ، فقد نسى أمبير الدعوة !

قانون الدائرة الكهربية

بينما كان اهتمام أمبير منصبًّا على الآثار المغناطيسية التى تحدثها التيارات الكهربية ، رغب أستاذ الفيزياء الألمانى چورج سيمون أوم ، الذى كان فى ذلك الوقت يشتغل مدرساً بمدارس كولونى ، فى معرفة مدى توقف شدة التيار أو اعتماده على نوع المادة التى يسرى فيها ، وكذلك على فرق الجهد الكهربى الذى يحمله على السريان باستمرار . واستخدم فى سبيل ذلك عدداً من أجهزة ركام ڤولتا ، التى عند ما وصلها على التتابع استطاع أن يحصل منها على درجات مختلفة من القوى الكهربية ، واستخدم كذلك أحد « الجلفانومترات » التى صنعها أمبير ، والتى تقيس شدة التيار عن طريق زاوية الانحراف التى يحدثها التيار فى إبرة الجهاز المغناطيسية . وعند ما استخدم عدة أسلاك مختلفة الطول والمقطع ، ومصنوعة

من مواد متنوعة ، وجد أن شدة التيار إنما تتناسب طردياً مع مساحة مقطع السلك ، وعكسياً مع طوله ، كما تتوقف على نوع المادة المصنوع منها السلك . وتوصل كذلك إلى أنه عند استخدام سلك معين تتناسب شدة التيار مع فرق الجهد الكهربى بين طرفيه ، كما يعينه عدد أجهزة ركام ڤولتا الموصلة على التتابع لينشأ عنها التيار الذى يسرى فى السلك . ويحكى هذا الوضع تماماً ، ويكاد لا يختلف فى شىء ، عن حالة نزح الماء بمضخة خلال أنبوبة مملوءة بنوع من وبر الزجاج الذى يقاوم مرور السائل . فى هذه الحالة نجد أيضاً أن شدة التيار المائى تزداد بزيادة الضغط الذى تولده المضخة ، وكذلك بكبر مقطع الأنبوبة ، وتنقص كلما ازداد طول الأنبوبة ، وتتوقف شدة التيار على طبيعة ومقدار المادة المكدسة داخل الأنبوبة لتقاوم مرور الماء بسهولة* دون عائق .

وهكذا أدخل أوم فكرة (المقاومة الكهربية) للأسلاك المختلفة ، مقرراً أن : شدة التيار إنما تتناسب طردياً مع فرق الجهد الكهربى الذى يعطى التيار ، وعكسياً مع مقاومة السلك ، وهذه المقاومة بدورها تتوقف على مادة السلك وهى تتناسب عكسياً مع مساحة مقطعه وطردياً مع طوله . ونشر أوم ما توصل إليه عام ١٨٢٧ فى ورقة أسماها « الدراسة الرياضية للدائرة الجلفانية » ، فكانت بمثابة الأساس لكل الدراسات التى جاءت بعد ذلك والتى كانت تتعلق بالدوائر الكهربية .

ويمكن تمثيل قانون أوم بمعادلتين بسيطتين هما :

$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{فرق الجهد الكهربى}}{\text{مقاومة السلك}}$$

$$\text{ومقاومة السلك} = \text{ع} \, \frac{\text{مساحة مقطع السلك}^{**}}{\text{طول السلك}}$$

حيث ع هى كمية ثابتة تتوقف على نوع مادة السلك المستعمل . وتكريماً له

* يطابق هذا التمثيل تماماً وجهات النظر الحديثة المتعلقة بمرور التيارات الكهربية فى الأسلاك المعدنية . فالتيار إنما ينجم عن سريان ما نطلق عليه اسم الكهارب الطليقة ، التى تتخذ سبيلها عبر أكداس الذرات التى يتكون منها المعدن تحت تأثير القوى الكهربية ودفعها (المؤلف) .

** الغالب أنه حدث خطأ مطبعى فى هذا القانون ، لأن حقيقته هى :

$$\text{مقاومة السلك} = \text{ع} \times \frac{\text{طول السلك}}{\text{مساحة مقطع السلك}}$$

(المترجم)

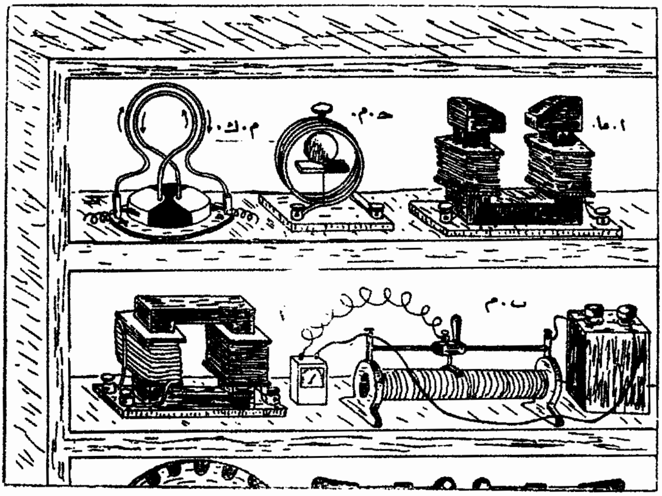
تعتبر وحدة المقاومة الكهربية بأنها تساوى أوم ، وهى المقاومة التى ينجم عنها تيار يساوى أمبيرا (واحدا) عند ما يكون فرق الجهد الكهربى يساوى ڤولتاً (واحد) . وقد يحدث أحياناً أن نتحدث عن التوصيل الكهربى بدلا من المقاومة الكهربية ، وهى لا تعدو كونها عكس أو مقلوب المقاومة ، مما جعل من المستساغ أن تسمى وحدة التوصيل الكهربى باسم موا ، أو مقلوب أوم ، ويبين شكل (٥ — ٨) بعض أجهزة الكهرباء المختلفة التى تستخدم فى التجارب المعملية المتعلقة بالظواهر الكهربية .

اكتشافات فارادى

كان مولد ميخائيل فارادى شكل (٥ —٩) ذلك الرجل الذى خطا بالبحوث التقليدية (الكلاسيكية) للظواهر الكهربية والمغناطيسية خطوتها الثانية ، وبدأ عصراً جديداً نطلق عليه اليوم اسم (الطبيعة الحديثة) ، فى عام ١٧٩١ بالقرب من مدينة لندن ، وكان أبوه حداداً ، فلم يستطع لفقره أن يتيح لابنه فرصة مواصلة الدراسة . ولما بلغ الثالثة عشرة من عمره تسلى كصبى فى مكتبة يديرها شخص يقال له السيد ريبو . وبعد مضى عام عينه السيد ريبو هذا مجلداً للكتب بعقد لمدة سبع سنوات ، ولكن فارادى لم يقصر عمله على مجرد تجليد الكتب التى كانت ترد إلى المكتبة ، بل دأب على قراءة الكثير منها من أول صفحة إلى آخر صفحة فيها مما ولد فيه حماسة وولعاً متقداً بالعلوم ودراستها . وكتب فارادى عن أيام طفولته يقول :

وعندما كنت صبياً تحت التمرين عشقت قراءة الكتب العلمية التى كانت تقع تحت يدى ، وأعجبت من بينها جميعاً بكتاب مارست « أحاديث فى الكيمياء» ومقالات الكهرباء فى « انسيكلوبيديا بريتانيكا Encyclopaedia Britannica » . وعمدت إلى إجراء تجارب بلغت من البساطة أنها لم تكن تكلفنى بضعة بنسات فى الأسبوع ، وبنيت أيضاً آلة كهربية . كانت أولا من زجاج قارورة ، ثم جعلتها بعد ذلك من أسطوانة حقيقية ، إلى جانب بعض أجهزة الكهرباء الأخرى التى كانت من نوع مماثل .

وخلال العام الأخير من عمله فى المكتبة ، عند ما تجاوز عشرين عاماً



شكل (٥ — ٨)

عرض لأجهزة الكهرباء المختلفة

محرك كهربى (م . ك .) . (الكترو موتور) . تياران كهربيان يمران فى اتجاهين متضادين خلال سلكين دائريين ، أحدهما متحرك والثانى ثابت ، فترغم قوى التنافر لأمبير وتجبر السلك المتحرك على الدوران حول المحور . ونظراً لما يعمل من ترتيب لتوفير التماس المنزلق فى القرص السفلى ، فإن اتجاه التيار يعكس ويستمر السلك فى الدوران .

جالفانومتر (ج . م .) . (وهو جهاز قياس شدة التيار) . عند ما يمر التيار الكهربى فى الملف ينحرف مغناطيس صغير معلق فى سلك رفيع عن وضعه الطبيعى . وكلما ازدادت شدة التيار كبرت زاوية الانحراف التى نقيسها بشعاع ضوئى تعكسه مرآة صغيرة .

الكتروماجنت (ا . ما .) . (هو المغناطيس الكهربى) . عند ما يمر تيار متصل فى الملف يظهر مجال مغناطيسى قوى بين القطبين .

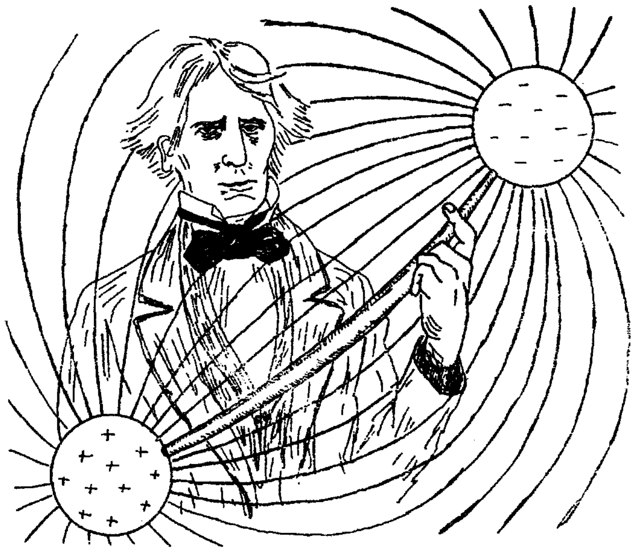
محول (م .) عند ما يمر تيار متقطع له جهد معين خلال ملف مكون من عدد صغير من اللفات (إلى اليسار) ، يظهر تيار كبير الجهد جداً فى الملف الذى يحتوى على عدد أكبر من لفات السلك الرفيع (إلى اليمين) .

بوتنشيومتر (ب . م .) . (هو جهاز قياس الجهد) . يمر التيار المنبعث من البطارية خلال مقاومة متغيرة . ويمكن الحصول على جهود كهربية مختلفة من السلك المتصل بجهاز التماس المنزلق بتحريكه إلى اليمين أو إلى اليسار .

بقليل ، وكانت أخبار اكتشافات جلفانى وڤولت لا تزال حديثة لم يتقادم عليها العهد ، كتب إلى صديقه القديم بنيامين آبوت :

لقد أجريت أخيراً عدة تجارب بسيطة لجلفانى ، وذلك لكى أبين لنفسى المبادئ الأولى للعلم . وكنت أروم الذهاب إلى محل نيتس لأحضر بعضاً من

النيكل ، فتذكرت أنه كان عندهم زنك قابل للسحب والمط ، وقد طلبته وابتعت بعضاً منه . فهل رأيت هذا الصنف بعد ؟ وكانت الكمية الأولى التى حصلت عليها أرق قطع يمكن الحصول عليها . لاحظها وهى مسطحة . وكانت كما أخبرونى من الرقة بحيث تصلح للعصى الكهربية ، أو كما سبق أن سميتها العمود الكهربى الفاخر ، ولقد أحضرتها من أجل عمل أقراص تصلح مع غيرها من أقراص النحاس لصناعة بطارية صغيرة ، ولقد اشتملت جميع أجزاء أول بطارية أكملت صناعتها على سبعة أزواج من الأقراص . ولم يكن حجم الزوج منها يزيد على حجم نصف البنس .



شكل (٥ — ٩)
ميخائيل فارادى وأنابيبه

ولقد عمدت بنفسى ، يا سيدى ، إلى قطع سبعة أقراص ، كل قرص منها فى حجم نصف البنس ، كما عمدت يا سيدى إلى تغطيتها بسبعة من أنصاف البنس ، ثم جعلت بينها سبع قطع ، أو على الأصح ست قطع من الورق المندى بمحلول الصودا . . . لا يعاودك الضحك يا عزيزى ! ! ولكن تعجب على الأثر الذى أحدثته هذه القوة الضئيلة التافهة . لقد كانت كافية لإنجاز تحليل كبريتات

(سلفات) المغنسيوم ، وهى ظاهرة أثارت دهشتى جداً ؛ إذ لم تكن لى ، بل لم يكن من الممكن أن تكون لى ، أى فكرة توحى بأنها كفء لهذا الغرض . وإنى أرى أن أحدثك هنا عنها . فقد قمت بتوصيل قمة وقاعدة جهاز الركام والمحلول باستخدام سلك من النحاس . فهل ترى أن النحاس هو الذى عمل على تحليل السلفات الأرضى (أى الكبريتات) ، أعنى ذلك الجزء المنغمس فى المحلول ؟ وإنى على يقين من حدوث ظاهرة جلفانية ، لأن الساكين غطتهما فقاقيع غازية بعد فترة وجيزة من الزمن ، كما ظهر تيار مستمر من الفقاقيع الصغيرة جداً التى بدت على هيئة الجسيمات الصغيرة ، وراح هذا التيار يجرى فى المحلول من السلك السالب . وإن برهانى على تحلل السلفات هو أنه بعد أن مضت ساعتان تعكر لون المحاول الرائق نظراً لترسب المغنسيوم فيه .

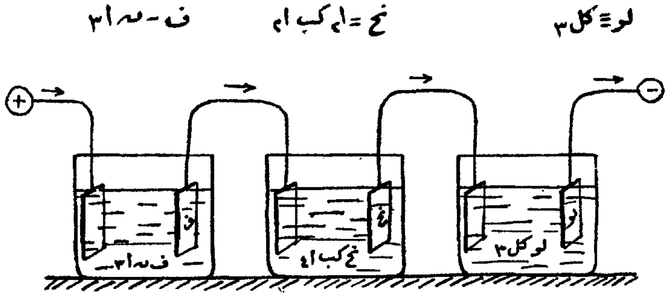
وكان هذا هو مبدأ اكتشاف التحليل الكيموى باستخدام التيار الكهربى ، أو التحليل الكهربى Electnolyisi (الكترولسز) كما سماها فارادى . ولقد توصل خلال السنين التى أعقبت ذلك وكان فيها يبحث هذه الظاهرة إلى قانونين أساسيين يحملان اسمه . ويقول قانون فارادى الأول : تتناسب كمية المادة المترسبة على القطبين (أو التى تنطلق منهما) تناسباً طردياً مع كمية الكهرباء الكلية ، (أو شدة التيار مضروبة فى الزمن) التى تمر فى المحلول . ومعنى ذلك أن الجزيئات المشحونة (التى أطلق عليها اسم الأيونات فيما بعد) التى تحمل الكهرباء عبر المحاليل السائلة لها شحنة كهربية محدودة تماماً — شكل (٥ — ١٠) .

وتبعاً لقانون فارادى الثانى نجد أنه : « تحمل كذلك الأيونات وحيدة التكافؤ للمواد المختلفة مقادير متساوية من الكهرباء ، فى حين أن الأيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ . . . إلخ ، تحمل بالتبعية شحنات أكبر » . ويعنى هذا وجود وحدة عالمية للشحنة الكهربية ، وهى لم تكن تعرف أيام فارادى إلا بأنها تتصل بالذرات المختلفة ، ولكن أمكن ملاحظتها فيما بعد على هيئة كهارب (إلكترونات) حرة طليقة تنتشر فى الفضاء .

وبقى على فارادى — بعد أن فرغ من اكتشاف التحليل الكهربى — أن يبحث له عن عمل ، لأن وظيفته فى المكتبة كانت ستنتهى بعد بضعة أشهر ، وكانت

أكبر أمانيه أن يعمل مع السير همفرى داڨى ، الكيميائى المشهور ، الذى دأب فارادى على حضور محاضراته وهو يعمل كصبى فى المكتبة . فكتب ملاحظاته على محاضرات داڨى بطريقة توخى فيها تحسين الخط ، وضمنها أشكالا رسمها بكل دقة وعناية ، ثم أرسلها مجلدة تجليداً لطيفاً إلى السير همفرى مع طلب للالتحاق بوظيفة فى معمله . وعند ما حاول داڨى أخذ رأى أحد الإداريين المسئولين فى المعهد البريطانى الملكى الذى كان يعمل مديراً لهعن إمكان تعيين صبى له خبرة بتجليد الكتب ، أجاب الرجل بقوله : دعه يغسل الأوانى ، فإذا كان فيه خير فسوف يقبل العمل ، أما إذا رفض فمعنى ذلك أنه لا يصلح لشىء بتاتاً .

وقبل فارادى العمل وظل فى المعهد الملكى خلال خمس وأربعين سنة هى التى بقيت من حياته ، فبدأ كمساعد لداڨى ، ثم كزميل له ، وأخيراً ، بعد موت داڨى كخلف له .



شكل (٥ — ١٠)

بيان قانونى فارادى للتحليل الكهربى : عند ما نمرر تياراً كهربياً خلال محلول أزتات الفضة ، وكبريتات النحاس ، وكلورور الألمنيوم ، ترسب المعادن على القطب السالب . ووجد أن كمية المعادن المترسبة تتناسب طرديا مع مقدار الكهرباء التى مرت (قانون فارادى الأول) . ووجد كذلك أنه إذا كانت كمية الفضة المترسبة تساوى ١٠٨ جرامات (الوزن الذرى للفضة) ، فإن مقدار ما يترسب من النحاس يساوى ٣١٫٧ جرام (نصف الوزن الذرى للنحاس) ، كما أن وزن الألمنيوم المترسب لا يعدو ٩ جرامات (ثلث الوزن الذرى للألمنيوم) . ونظراً لمرور نفس القدر من الكهرباء فى الأوعية الثلاثة ، فإننا نستنتج أن أيون النحاس يحمل ضعف الشحنة الكهربية التى يحملها أيون الفضة ، وأن أيون الألمنيوم يحمل ثلاثة أضعاف هذا القدر . وتتفق هذه القيم مع التكافؤ الكيموى لهذه المعادن ، على النحو الموضح بالمعادلات الكيموية التى فى أعلى الشكل . وهذا هو قانون فارادى الثانى .

وبصرف النظر عن البحوث العديدة التى نشرها فى المجلات العلمية ، فإن أظهر وثيقة تتعلق بدراساته هى مذكراته اليومية التى دأب على كتابتها دون انقطاع ابتداء من عام ١٨٢٠ إلى عام ١٨٦٢ . ولقد تم نشرها حديثاً (١٩٣٢) بمعرفة المعهد الملكى فى سبعة مجلدات ضخمة قوامها ٣٢٣٦ صفحة ، وبضعة آلاف شكل مرسومة على الهامش . ونحن نقتبس من هذه المذكرات كلمات فارادى على ما ربما يكون أهم اكتشاف له ، ألا وهو الاكتشاف المتعلق بموضوع « التأثيرات المنتجة * الكهرمغناطيسية » :

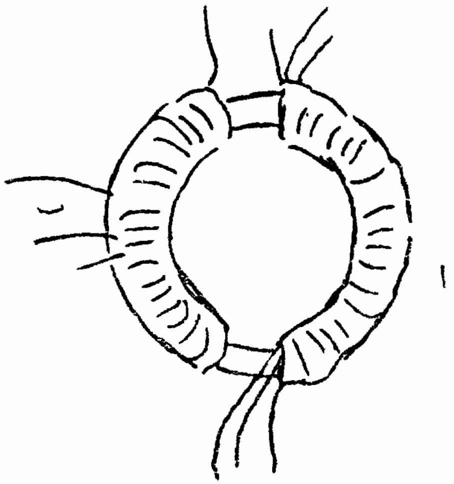
٢٩ من أغسطس عام ١٨٣١

١ — تجارب على توليد الكهربا من المغناطيسية إلخ . إلخ .

٢ — بعد عمل حلقة من الحديد (الحديد المطاوع) حديد مستدير سمكه $\frac{٧}{٨}$ بوصة ، وحلقة قطرها ٦ بوصات — شكل (٥ — ١١) — وبعد أن لففت عدة ملفات من السلك النحاس حول نصف الحلقة ، مع عزل (الملفات بواسطة فتل الخيط) أو الدوبارة والعبك ، استخدمت ثلاثة أطوال من السلك ، بلغ طول كل منها ٢٤ قدماً ، وكان من الممكن توصيلها بعضها ببعض على هيئة طول واحد ، أو استخدامها كأطوال منفصلة معزولة بعضها عن بعض . ولنطلق على هذا الجانب من جوانب الحلقة اسم الجانب ا . وعلى الجانب الآخر ، الذى تفصله عن ا مسافة صغيرة ، لف سلك من قطعتين معاً طوله نحو ٦٠ قدماً فى نفس اتجاه لف السلك فى الملفات الأولى ، ولنطلق على هذا الجانب اسم الجانب ب .

٣ — شحنت بطارية مكونة من عشرة أزواج من الأقراص ، مساحة كل منها ٤ بوصات مربعة ، وعمل الملف فى الجانب ب ملفاً واحداً ، ووصل طرفاه بسلك من النحاس مد ليمر فوق إبرة مغناطيسية (على بعد ثلاث أقدام من الحلقة) . وبعد ذلك وصل طرف من أطراف القطع المستخدمة فى الجانب ا بالبطارية ، وفى الحال ظهر أثر ملموس فى الإبرة ، التى راحت تتذبذب واستقرت أخيراً فى وضعها الأصلى . وعندما قطع اتصال الجانب ا بالبطارية اضطربت الإبرة من جديد .

* هى التيارات التأثيرية (المترجم) .



شكل (٥ — ١١)

يبين هذا الشكل المنقول عن مفكرة فارادى اكتشافه لظاهرة التأثير الكهرمغناطيسى المنتج . فإن ظهور أو عدم ظهور التيار الكهربى فى الملف ا ينتج تياراً كهربياً فى الملف ب — يبقى مدة وجيزة جداً .

وعلى ذلك يستطيع التيار الكهربى الذى يمر فى أى ملف أن ينتج بالتأثير تياراً فى ملف آخر بجوار الملف الأول ، تماماً كما تحدث الشحنة الكهربية التى على جسم ما استقطاباً كهربيًّا لجسم آخر قريب . ولكن بينما يكون الأثر الناتج فى حالة الاستقطاب الكهربى ساكناً ، ويدوم ما بقى الجسمان متجاورين ، نجد أن إنتاج التيارات الكهربية بالتأثير إنما يتضمن عملية غير ساكنة (ديناميكية) كما يقتصر تولد التيار فى الملف الثانى على تلك اللحظات التى يتزايد فيها التيار فى الملف الأول من الصفر إلى قيمته العادية ، أو التى يتناقص فيها من هذه القيمة عائداً إلى الصفر .

وفى خلال مدة أقل من ثلاثة أشهر من تاريخ هذا الكشف الذى كان فاتحة عصر جديد ، أكمل فارادى خطوة أخرى هامة فى دراسة العلاقة التى تربط بين الكهربية والمغناطيسية . وفيما يلى طريقة عمل تلك الخطوة تبعاً لما جاء فى مذكراته :

١٧ من أكتوبر عام ١٨٣١

٥٦ . بنيت أسطوانة ، مفرغة ، من الورق ، مغطاة بثمانية ملفات لولبية من

السلك النحاس ، بحيث كانت تأخذ جميعها نفس الاتجاه وتشتمل على المقادير الآتية :

		قدم	بوصة
١	(أو الخارجية)	٣٢	١٠
٢		٣١	٦
٣		٣٠	
٤		٢٨	
٥		٢٧	
٦		٢٥	٦
٧		٢٣	٦
٨	(أو الداخلية)	٢٢	

٢٢٠ قدماً مع إهمال الأطراف البارزة .

وفصلت أو عزلت كلها بالدوبار والعبك . وبلغ القطر الداخلى لأسطوانة الورق $\frac{١٣}{١٦}$ من البوصة ، كما بلغ القطر الخارجى فى جملته $\frac{١}{٢}$١ بوصة ، وطول مالفات النحاس اللولبية (على هيئة أسطوانة) $\frac{١}{٢}$٦ بوصة .

٥٧ . التجارب باستخدام الأكسجين . نظفت أطراف الملفات الثمانية الموجودة على جانب معين من الأسطوانة ، وربطت بعضها مع بعض على هيئة حزمة ، وعوملت الثمانية الأطراف الأخرى بالمثل — شكل (٥ — ١٢) — ، ثم وصل هذان الطرفان المركبان بجهاز الجلفانومتر باستخدام أسلاك طويلة من النحاس ، ثم أدخل طرف قضيب مغناطيسى أسطوانى الشكل قطره $\frac{٣}{٤}$ بوصة وطوله $\frac{١}{٢}$٨ بوصة فى فوهة أسطوانة السلك اللولبى . وبعد ذلك دفع المغناطيس بسرعة على طول الأسطوانة فتحركت إبرة الجلفانومتر ، ثم سحب فتحركت الإبرة من جديد ، ولكن فى الاتجاه المضاد ، وتكرر حدوث هذه الظاهرة فى كل مرة أدخل أو أخرج فيها المغناطيس ، مما عمل على توليد موجه من الكهرباء من مجرد ما يشبه المغناطيس ، وليس عن تكوينه بالفعل .

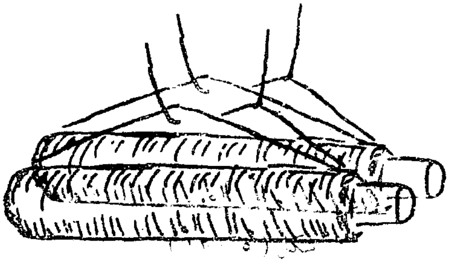
٥٨ . لم تظل الإبرة محتفظة بإزاحها عن موضعها الأصلى ، ولكنها كانت فى كل مرة تعود إليه . وكانت تتحرك على التعاقب فى اتجاهات عكسية كما فى

التجربة السابقة ، وفى حركات مطابقة ، أى إن الإبرة المؤشرة دارت لتصير بحذاء المغناطيس المؤثر ، أى موازنة له ، لكونها على نفس جانب السلك ونفس اسم القطبين فى نفس الاتجاه .

٥٩ — وعند ما حولت الملفات الثمانية اللولبية إلى ملف واحد لولبى لم يكن الأثر بنفس الشدة كما كان أولا على الجلفانومتر . ولهذا فالأفضل أن تصنع من أجزاء تتصل نهايتها .

٦٠ — عندما استخدم ملف لولبى واحد من الملفات الثمانية وصلت قيمة التأثير إلى نهايتها الدنيا ، حتى صار من الصعب ملاحظتها أو إدراكها .

ومرة أخرى نجد هنا أن إنتاج التيار فى الملف كان بسبب ظاهرة فيها طابع الحركة (ديناميكية) ، فإن التيار وجد فقط كلما دفع المغناطيس إلى الداخل أو سحب إلى الخارج من الملف . وفى تلك الأيام التى عاش فيها فارادى كان الرأى القائل بأن المغناطيسية يجب أن تنتج تياراً كهربيًّا كما يولد التيار الكهربى المغناطيسية ، هو مجرد رأى معلق فى الهواء ، وظل كثير من المشتغلين بالفيزياء



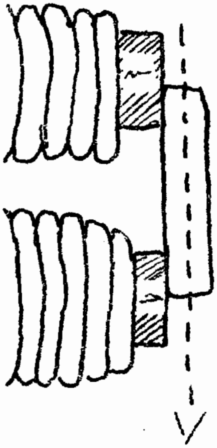
شكل (٥ — ١٢)

رسم من مذكرة فارادى ، يبين تجربة فيها ينتج المغناطيس تياراً كهربياً فى ملف عند ما يدفع هذا المغناطيس داخل الملف أو يسحب خارجه .

يحاولون مشاهدة هذه الظاهرة ، ولكن خدعهم التشابه القائم بينها وبين المسألة المناظرة فى حالة التأثير الكهربى مع انعدام الحركة ، فراحوا يجربون فقط الأشكال الساكنة (ستاتيك Static) للمغناطيسات المختلفة ، والأسلاك ، التى على غرار القضيب المغناطيسى الملفوف من حوله سلك ، وهو وضع يقاوم بشدة وعنف إنتاج أى شرارة عند ما يلمس الطرفان ، والحق أننا ندين لعبقرية فارادى ، أو ربما لذلك العدد الوفير من التجارب التى كان يجريها على مر الأيام ، فى إيضاح مسألة إنتاج

التيار الكهربى بالطريقة المتحركة (Dynamic) ، وأن الأمر يحتاج إما إلى تغيير فى شدة تيار آخر أو تغيير فى وضع المغناطيس . وعالم الفيزياء الوحيد الذى توصل إلى نفس رأى فارادى كان العالم الأمريكى چوزيف هنرى ، إلا أنه طال تردده فى إعلان رأيه هذا على الملأ ، وبذلك صارت أسبقية الكشف للرجل الموجود على الجانب الآخر * من المحيط الأطلسى .

ولم يقف عقل ميخائيل فارادى ، ذلك العقل الباحث المنقب ، عند حد فك عقدة ما خفى من علاقة بين الكهربية والمغناطيسية ، فقد أراد أن يعرف هل المغناطيسية تؤثر فى الظواهر الضوئية ؟ وأدى ذلك إلى اكتشاف العلاقة القائمة بين مستوى استقطاب الضوء (فقرة ص ١٤٤) المار خلال الأجسام الشفافة الموضوعة فى مجال مغناطيسى . وهنا نترك مرة أخرى فارادى نفسه يحدثنا عن اكتشافه هذا :



شكل (٥ — ١٣)

رسم من مذكرات فارادى ، يبين اكتشافه لظاهرة تأثير المجال المغناطيسى فى الضوء : عند ما ينتشر الضوء المستقطع على طول خطوط القوى المغناطيسية ، ويبدو مستوى الاستقطاب بزاوية تتناسب مع شدة المجال .

١٣ من سبتمبر ١٨٤٥ .

٧٤٩٨ اشتغلت اليوم بخطوط القوى المغناطيسية فجعلتها تمر عبر أجسام مختلفة (شفافة فى اتجاهات متباينة) ، وفى الوقت نفسه أمررت خلالها شعاعاً

* يعنى إنجلترا بالنسبة لأمريكا (المترجم) .

ضوئياً مستقطباً ، ثم اختبرت الشعاع بعد ذلك بعينية نكلز * أو بوسائل أخرى . وكان المغناطيسان من نوع المغناطيس الكهربى : أحدهما مغناطيسنا الكهربى الأسطوانى الكبير ، والثانى مغناطيس مؤقت من الحديد على هيئة قلب وضع داخل الملف اللولبى محملا على دعامة ، ولم يكن هذا الأخير فى مثل قوة المغناطيس الأول . وأمر تيار من خمس من بطاريات جروف فى الملفين اللولبيين دفعة واحدة وجعل المغناطيسان يعملان أو لا يعملان بإمرار التيار الكهربى أو قطعه .

وبعد أن وصف عدة نتائج سلبية لتجارب أمرّ فيها شعاع الضوء فى الهواء ، ثم فى مواد أخرى عديدة ، نجد فارادى يقول فى مذكرته فى نفس ذلك اليوم :

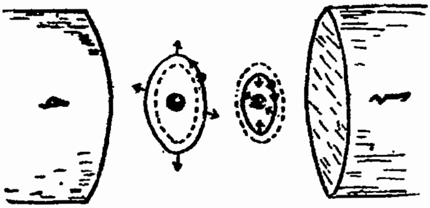
٧٥٠٤ زجاج ثقيل .

أخذت قطعة من الزجاج الثقيل ، طولها بوصتان وعرضها ١,٨ بوصة ، وسمكها ٠,٥ من البوصة ، من مادة بورات سلكا الرصاص ، وبعد أن هذبت من حافتيها القصيرتين أجريت عليها التجارب ، فلم تعط أية نتيجة عند ما كان على جانبيها قطبان مغناطيسيان متشابهان أو متضادان (بالنسبة إلى مسار الشعاع المستقطب) ، وكذلك عند ما وضع القطبان المتشابهان على جانب واحد ، سواء أكان التيار ثابتاً أم متقطعاً ، ولكن عند ما وضع القطبان المغناطيسيان المتضادان على جانب واحد ـ شكل (٥ ـ ١٣) ـ وقع تأثير على الشعاع المستقطب ، وهكذا ثبت بالتجربة وجود علاقة بين القوى المغناطيسية والضوء ، وتبدو أهمية هذه الحقيقة وفائدتها واضحة عند دراسة كلتا الحالتين من قوى الطبيعة .

وبكل تأكيد ثبتت تلك العلاقة ودلت عليها « ظاهرة فارادى » ، أو دوران مستوى استقطاب الضوء المنتشر على طول خطوط القوى المغناطيسية ، وبينت تلك الصلة الوثيقة القائمة بين أمواج الضوء ، التى هى عبارة عن أمواج كهرمغناطيسية قصيرة جداً ، والتيارات الكهربية التى فى داخل كل كهرب من الكهارب . ونحن نفسر اليوم هذه الدوائر الكهربية الصغيرة ، التى كان أمبير أول من اقترح وجودها أو قيامها (ص ٢٠٤) ، بأنها ناجمة عن دوران الكهارب الذرية حول النوى

---

* العينية هى العدسة التى ينظر المرء خلالها ، ويستخدم منشور نكلز كعينية يدرس بها استقطاب الضوء (المترجم) .



(شكل ٥ — ١٤)

تفسير ظاهرة فارادى . تتوقف القوة المؤثرة فى كهرب ذرى يتحرك فى مجال مغناطيسى على اتجاه الحركة . فى حالة الدوران ضد عقرب الساعة (إلى اليسار) تعمل القوة على زيادة نصف قطر المدار ونقص التردد ، أما فى حالة الدوران مع عقرب الساعة (إلى اليمين) فإن القوة تعمل على تقليل نصف القطر وزيادة التردد . وعند ما تؤثر على الضوء نجد أن هذين النوعين من حركة الكهارب يعملان على دوران مستوى الاستقطاب .

المركزية . فعندما نأخذ ذرتين متطابقتين وموضوعتين فى مجال مغناطيسى بحيث يدور كهرب فى اتجاه عقرب الساعة، على حين يدور الثانى ضد اتجاه عقرب الساعة — شكل (٥ — ١٤) — نجد أنه فى حالة منها يؤثر المجال المغناطيسى فى الكهرب المتحرك بقوة تتجه نحو النواة ، بينما فى الحالة الأخرى تأخذ القوة الاتجاه العكسى وعلى ذلك يتقلص قطر مدار الكهرب فى الحالة الأولى ويزداد التردد ، ويحدث العكس فى الحالة الثانية . ويؤثر هذا الفرق فى نتيجة دوران التيارات الداخلية للذرات ولفها مع عقرب الساعة أو ضد عقرب الساعة على انتشار الأمواج الكهرمغناطيسية (الضوء) خلال المادة ، ويمكن التدليل على أن النتيجة الحتمية هى دوران مستوى الاستقطاب على النحو الذى شاهده فارادى .

وما إن اقتنع فارادى بأن جميع الظواهر التى نشاهدها فى عالم الطبيعة إنما تتصل بعضها ببعض بطريقة أو بأخرى ، حتى شرع يحاول الوصول عن طريق التجربة إلى العلاقة القائمة بين القوى الكهرمغناطيسية وقوى الجاذبية التى تحدث عنها نيوتن . وفى هذا الصدد كتب فى مفكرة معمله عام ١٨٤٩ يقول :

الجاذبية بكل تأكيد ، يجب أن تكون هذه القوة لائقة بإجراء تجربة تثبت علاقتها بالكهربية والمغناطيسية وغيرهما من القوى ، حتى نضعها معها فى تفاعل

منعكس وتأثير مماثل . ولنجرب أن نفكر لحظة فى الوسيلة التى نعالج بها هذا الموضوع عن طريق الحقائق والمحاولات .

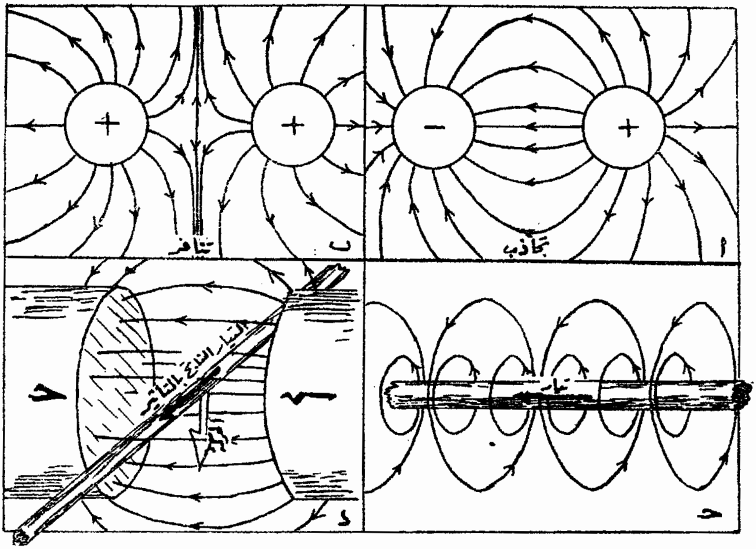
إلا أن التجارب العديدة التى أجراها من أجل إماطة اللثام عن سر هذه العلاقة باءت كلها بالخذلان ، فكتب عنها فى مفكرته يقول :

إننى أنهى محاولاتى عند هذا الحد الآ ن : فإن النتائج سلبية ، إلا أنها لا تهز شعورى القوى بوجود علاقة بين الجاذبية والكهربية ، رغم أنها لا تعطينى الدليل على وجود مثل هذه الصلة .

وبعد مضى قرن كان عبقرى آخر هو البرت أينشتين يقدح فكره ويعصر ذهنه خلال عشرات السنين محاولا الوصول إلى ما يسمى « نظرية المجال الموحد » ، وهى النظرية التى تجمع معاً كل الظواهر الكهرمغناطيسية والجاذبية . ولكن البرت أينشتين مات دون أن يتم هذه المهمة ، تماماً كما فعل ميخائيل فارادى سواء بسواء .

المجال الكهرمغناطيسى

وتمشياً مع اكتشافات فارادى التجريبية المثيرة سارت الدراسات النظرية التى تدعمها جنباً إلى جنب . ولم تتح لفارادى فرصة الوصول إلى مرتبة عالم الفيزياء النظرية، نظراً لأنه لم يظفر إلا بقسط صغير من التعليم ، كما لم يكن يعرف إلا النزر اليسير من الرياضة . والحق يقال : إن تكوين صورة نظرية لظاهرة طبيعية محيرة قد لا يتطلب ولا يستلزم الوقوف على رياضة معقدة ، وقد تكون هذه الرياضة مضرة أحياناً ، فإن الباحث أو المنقب قد يضل بسهولة ويفقد طريقه فى غابات المعادلات المتشابكة المعقدة ، أو كما يقول المثل الروسى : « لا يستطيع رؤية الغابة من الشجر » . وقبل مجىء فارادى كانت القوى الكهربية والمغناطيسية ، وكذلك قوى الجاذبية تعتبر كأنما تعمل « عبر الفضاء » المفرغ من المادة الذى يفصل بين الأجسام التى يؤثر بعضها فى بعض ، وعلى أية حال لم يستوعب عقل فارادى على بساطته مثل هذا « التأثير على بعد » ولم يبد له هذا القول مفهوماً من الوجهة الطبيعية . فهو عندما يبصر ثقلا يزاح من مكان إلى آخر إنما يريد كذلك أن يبصر الحبل



شكل (٥ – ١٥)

خطوط قوى فارادى المنتمية إلى أنواع متباينة من التأثيرات المتبادلة الكهرمغناطيسية : (ا) خطوط القوى الكهربية التى تعمل بين شحنتين مختلفتين . (ب) خطوط القوى الكهربية بين شحنتين متجانستين . (حـ) خطوط القوى المغناطيسية من حول سلك يحمل تياراً كهربياً . (د) تيار كهربى منتج بالتأثير فى سلك يتحرك (السهم الأبيض) عبر خطوط قوى مغناطيسية . وتدل الأسهم السوداء على اتجاه خطوط القوى حسب التعريف والاتفاق من الشحنة الموجبة إلى السالبة ، ومن القطب المغناطيسى الشمالى إلى القطب المغناطيسى الجنوبى .

الذى يجرّبه أو العصى التى تدفعه . وعلى هذا الأساس عمد ، من أجل فهم حقيقة القوى التى تؤثر على الشحنات الكهربية أو المغناطيسات ، إلى تصور الفضاء الكائن بينها ، كأنما هو ملىء «بشىء» يستطيع الجذب والطرد . وتحدث عن شىء شبيه بأنابيب المطاط التى تمتد بين الشحنات الكهربية المتضادة ، أو أقطاب المغناطيس – شكل (٥ – ١٥ ا) – فتجذبها لبعضها . وفى حالة الشحنات والأقطاب المتجانسة أو المتحدة فى العلامة تمتد أشباه أنابيب المطاط هذه بطرق مختلفة – شكل (٥ – ١٥ ب) وتدفعها بعيداً بعضها عن بعض . وعلى أية حال فإنه فى حالة المغناطيسيات يمكن أن يلاحظ اتجاه أنابيب فارادى هذه بأن تطرح برادة الحديد الدقيقة على لوح الزجاج الذى يوضع عليه المغناطيس ، فإن البرادة تتمغطس وتوجه نفسها فى اتجاه خطوط القوى المغناطيسية المؤثرة فى طول الأنابيب ،

وتكون بذلك أشكالا شبيهة بتلك المرسومة على اللوحة رقم (٣) ، أما فى حالة المجال الكهربى فإنه يمكن الحصول على نتائج مشابهة باستخدام الاستقطاب الكهربى ، إلا أن التجربة أكثر صعوبة وغير سهلة الإجراء . ويقول فارادى كذلك ، إن الأنابيب الكهربية والمغناطيسية مسئولة عن كافة الظواهر الكهرمغناطيسية ، فعندما يمر تيار فى سلك كهربى يحاط بأنابيب دائرية – شكل (٥ – ١٥ جـ) – تعمل على شد الإبرة المغناطيسية وتوجيهها بطريقة معينة . وعند ما يحرك سلك (من الأسلاك الموصلة للكهربية) بالنسبة إلى مغناطيس (أو العكس) ، فإنه يعبر أنابيب مغناطيسية – شكل (٥ – ١٥ د) – وينجم عن ذلك تولد أو إنتاج تيار كهربى فيه .

ومهما يكن من شىء فإن آراء فارادى كانت إلى حد بعيد مجرد تصوير وصفى (غير كمى) ، إلا أنها كانت فاتحة عصر جديد فى تقدم علوم الفيزياء ، فتلك القوى الغامضة التى تؤثر عبر مسافات كبيرة بين الأجسام قد أبدلت « بشىء » يضطرب على الدوام ويفيض ليملأ شتى أرجاء الفضاء الذى بينها أو من حولها ، وهو شىء يمكن أن يقدر بقيمة معينة عند أى نقطة بالذات . ولقد أدخل بذلك إلى علم الفيزياء فكرة « مجال القوة » أو مجرد « المجال » ، سواء أكانت التأثيرات كهربية ، أم مغناطيسية ، أم جاذبية . ويمكن الآن اعتبار القوى المؤثرة المتبادلة بين الأجسام المادية التى يفصل بينها الفضاء الكونى على أنها نتيجة لتأثير « التجاور » بين المجالات المحيطة بها .

ويقع عبء مهمة صياغة آراء فارادى فى القالب الرياضى المعبر عن الكم على عاتق رجل أسكتلندى مشهور يقال له كلارك ماكسويل – شكل (٥ – ١٦) – ولد فى أدنبرج لعدة شهور قلائل مضين على إعلان فارادى لاكتشافه التأثير الكهرمغناطيسى . وعلى عكس فارادى ، كان مكسويل هذا رياضياً ماهراً جداً . وعند ما بلغ العاشرة من عمره ذهب إلى المدرسة بأكاديمية أدنبرج ، وأرغم على أن يكرس جزءاً كبيراً من وقته فى دراسات الأفعال الإغريقية غير المنتظمة ، وغيرها من فروع « الدراسات الإنسانية » . ولكنه كان يفضل دراسة الرياضة ، وكان أول نجاح له فيها ، حسب قوله بالذات ، « عمل شكل رباعى منتظم ، وشكل

منتظم له ١٢ ضلعاً ، وشكلين آخرين منتظمين لم أعرف لهما أسماء » ، وعندما بلغ الرابعة عشرة فاز بالحصول على وسام (مدالية) الأكاديمية فى الرياضة لتقدمه بورقة (بحث) يبين كيفية بناء القطع الناقص أو الاهليلج (هو الشكل البيضاوى) التام باستخدام الدبابيس والخيط . وبعد سنوات من ذلك التاريخ قدم ماكسويل للجمعية الملكية بحثين ، أحدهما فى موضوع : « حول نظرية منحنيات اللف » ، والثانى فى موضوع « حول توازن الأجسام الصلبة المرنة » وقرأ شخص ما البحثين أمام الجمعية ، إذ رؤى أنه ليس من المستحسن ولا من المستساغ أن يصعد صبى لا يزال يلبس زى الصغار إلى منصة الخطابة هناك . وفى عام ١٨٥٠ ، وكان قد بلغ التاسعة عشرة ، أدرج اسم ماكسويل كطالب بجامعة كمبردج ، وحصل على درجته العلمية بعد مضى أربع سنوات ، وفى غضون عام ١٨٥٦ عين على كرسى الفلسفة الطبيعية بجامعة ماريشال بابردين ، فظل فيها حتى استدعته جامعة كمبردج من جديد عام ١٨٧٤ ليكون أول مدير للمعمل الجديد المنشأ باسم كافندش .

ورغم أن هواية ماكسويل الأولى تركزت فى موضوع الرياضة البحت ، فإنه سرعان ما أصبح مهتماً باستخدام الطرق الرياضية فى حل مسائل الفيزياء المختلفة ، فعمل إضافات « جوهرية » عديدة لنظرية الحركة فى الحرارة (الباب الرابع) ، إلا أنه ليس من شك أن أعظم أعماله على الإطلاق كانت صياغته لأفكار فارادى الخاصة بطبيعة وقوانين المجال الكهرمغناطيسى ووضعها فى قالب رياضى ، عمم به الحقائق المستنتجة بالمشاهدة والتجربة . وتقول تلك الحقائق إن التغير فى المجالات

$$\text{دف}\ \bar{\text{ى}} = \text{ث} : \text{دف}\ \bar{\text{هـ}} = \text{صفر}$$

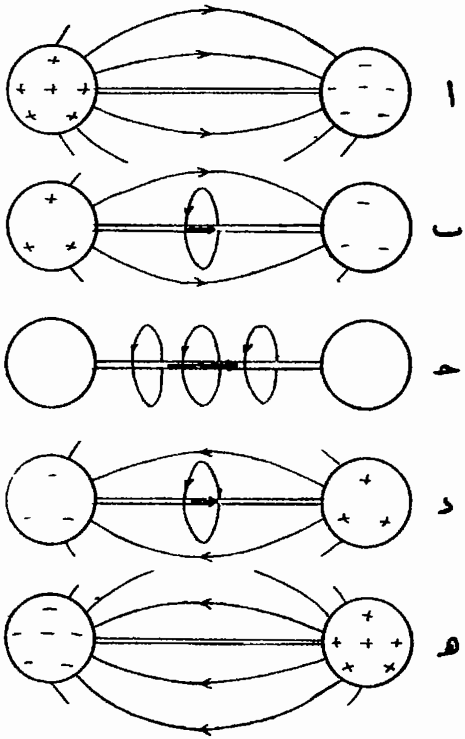
$$\text{كرل}\ \bar{\text{ى}} = -\frac{1}{\text{ع}}\,\frac{\text{د}\bar{\text{هـ}}}{\text{دن}}$$

$$\text{كرل}\ \bar{\text{هـ}} = \frac{1}{\text{ع}}\,\frac{\text{د}\bar{\text{ى}}}{\text{دن}} + \text{ث}\,\frac{\bar{\text{ق}}}{\text{ع}}$$

شكل (٥ — ١٦)

چيمس كلارك مكسويل ومعادلاته الخاصة بالمجال الكهرمغناطيسى

المغناطيسية ينجم عنه بالتأثير تولد قوى كهربية دافعة وتيارات تسرى فى الأجسام الموصلة ، على حين ينجم عن المجالات الكهربية المتغيرة وعن التيارات السارية مجالات مغناطيسية . ولقد عبر عن هذه الحقائق كلها بمعادلات رياضية لا تزال تحمل اسمه إلى اليوم ، وهى تربط بين معدل التغير فى المجال المغناطيسى وتوزيع المجال الكهربى فى الفضاء ، والعكس بالعكس . ونحن نستطيع باستخدام معادلات مكسويل ، ومعرفة توزيع الأجسام المغناطيسية والأجسام الموصلة المشحونة بالكهرباء والتيارات الكهربية ، أن نحسب بالتفصيل المجال الكهرمغناطيسى المحيط بها كلها ، وكذلك التغير فيه بمضى الوقت . ولقد برهن مكسويل على أنه بالرغم من أن المجالات الكهربية والمغناطيسية تكون عادة (راسية) على الأجسام المشحونة بالكهرباء أو الممغطة ، فإن فى مقدورها كذلك أن توجد وتنتشر فى الفضاء على هيئة موجات كهرمغناطيسية حرة طليقة ، ولكى نوضح هذه النقطة نأخذ موصلين على هيئة كرتين ، إحداهما مشحونة بالكهربية الموجبة ، والثانية مشحونة بالكهربية السالبة — شكل (٥ — ١٧ أ) — ، فنجد أنه ينشأ فى الفضاء الذى يحيط بالكرتين مجال كهربى ساكن ، يختزن الطاقة الكهربية للشحنتين ، كما يختزن الزنبرك الملفوف جيداً الطاقة الميكانيكية على وجه التقريب . وعندما نوصل سلكين متصلين بالكرتين أحدهما بالآخر يسرى تيار كهربى من كرة إلى أخرى ، وبذلك تبدأ الشحنة الكهربية التى على كل منهما ، وكذلك المجال الكهربى المحيط بهما ، فى التناقص سريعاً شكل (٥ — ١٧ ب) ، حتى تتلاشى كلها أخيراً كما فى شكل (٥ — ١٧ ج) . ومهما يكن من شىء فإن التيار الكهربى عند سريانه فى السلك يولد مجالا مغناطيسيًّا من حوله ، وفى اللحظة التى تصير فيها قيمة التيار الكهربى صفرا ، تكون طاقة المجموعة كلها مخزونة فى هذا المجال المغناطيسى . ولكن العملية لا تنتهى على هذا النحو ، فإن التيار الكهربى الذى يسرى فى السلك يستمر ، ولو بقوة متناقصة ، عاملا على شحن الكرتين بكهربية مضادة كما فى شكل (٥ — ١٧ د) . وتعود طاقة المجال المغناطيسى مرتدة إلى طاقة مجال كهربى ، حتى نصل أخيراً إلى المرحلة التى يصير فيها التيار صفراً ، وتشحن كل كرة من الكرتين بالقدر الأصلى من الكهربية المضادة — شكل (٥ — ١٧ ه) . وتتكرر العملية بعد ذلك متبعة نفس الخطوات ولكن فى الاتجاه المضاد . وهكذا تستمر الذبذبات الكهربية مقبلة مدبرة حتى تقف تحت تأثير فقد الطاقة التدريجى بسبب تسخين السلك الذى



شكل (٥ – ١٧)

الذبذبات الكهرمغناطيسية المتبادلة بين جسمين موصلين ، فيها تتحول طاقة المجال الكهربى (ا) بانتظام إلى طاقة مجال مغناطيسى (حـ) ، والعكس بالعكس فى (هـ) .

يحمل التيار . ويحكى هذا الوضع إلى حد كبير وضع البندول حيث تتحول طاقة الحركة فى منتصف كل ذبذبة إلى طاقة وضع عند الطرفين .

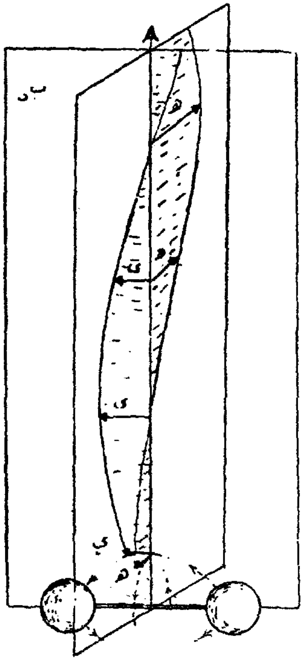
واستطاع مكسويل عن طريق استخدام معادلاته أن يبرهن على أن المجال الكهرمغناطيسى الذى يتذبذب على النحو الذى سبق شرحه إنما ينتشر عبر الفضاء المحيط بمصدر الذبذبات على هيئة موجات تنقل الطاقة إلى مسافات بعيدة . ولما كانت خطوط القوى الكهربية تقع فى المستوى الذى يمر بالسلك ، بينما تتعامد عليه خطوط القوى المغناطيسية ، فإن المقدارين الموجهين * (فكتر Vectors) اللذين

* المقدار الموجه للقوة مثلا هو الذى يمثلها مقداراً واتجاهاً (المترجم) .

يمثلان المجالين الكهربى والمغناطيسى فى الموجة المنتشرة يكون كل منهما متعامداً على الآخر وكذلك متعامداً على اتجاه انتشار الموجة ، كما فى شكل (٥ — ١٨) . ولقد أمكن التدليل على وجود مثل هذه الموجات عملياً عام ١٨٨٨ على يد عالم الفيزياء الألمانى هينرخ هرتز ، ولم يكن قد مضى زمن طويل على تكهن مكسويل بها ، مما أدى إلى ابتكار فنون الاتصال اللاسلكى الذى يمثل فى عصرنا هذا فرعاً رئيسياً من فروع حضارتنا الصناعية .

وسوف نناقش الآن ، مع شيء من التفصيل ، إحدى النقط الهامة التى جاءت فى نظرية مكسويل ، ألا وهى حساب سرعة انتشار الموجات الكهرمغناطيسية : فنحن عند ما نحاول النظر إلى التفاعل أو التأثير المتبادل الذى يحدث بين المجالات الكهربية والمغناطسية تعترض سبيلنا المسألة المتعلقة بالوحدات اللازم استخدامها لقياس المقادير الكهرمغناطيسية المختلفة . ولقد رأينا فيما سبق أن وحدة الشحنة الكهربية هى الشحنة التى إذا وضعت على بعد سنتيمتر واحد من وحدة مماثلة لها تتنافر معها بقوة تساوى (داين) . وعلى هذا القياس فإن وحدة المجال الكهربى يلزم أن تعرف بأنها المجال الذى يؤثر بقوة تساوى (داين Dyne) واحد على وحدة الشحنة الكهربية الموضوعة فيه . وعلى نمط مماثل كذلك يمكن تعريف وحدة شدة القطب المغناطيسى ووحدة المجال المغناطيسى .ولكن ماذا يحدث لو أننا عمدنا إلى أن نأخذ فى الاعتبار تلك الظواهر التى تتضمن الكهربية والمغناطيسية معاً ، على غرار المجال المغناطيسى الذى يولده تيار كهربى مثلا ؟

لنفرض أننا ندرس تأثير تيار كهربى فى قطب مغناطيسى موضوع على بعد سنتيمتر واحد من السلك . هنا نستطيع أن نعرّف وحدة التيار الكهربى بأنه التيار الذى يحمل وحدة الشحنة الكهربية السابق تعريفها فى الثانية . ولكننا فى هذه الحالة نجد أن القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى الذى يولده التيار فى وحدة القطب الموضوعة على بعد سنتيمتر من السلك لا يلزم أن تساوى داين Dyne واحداً ، وهى ليست كذلك بالتأكيد . وبدلا من ذلك يمكننا تعريف وحدة التيار بأنه الذى يعطى مجالا مغناطيسياً يؤثر بقوة تساوى داين Dyne فى قطب شدته الوحدة موضوع على بعد سنتيمتر واحد . وفى هذه الحالة لا تكون كمية الكهربية التى



شكل (٥ – ١٨)

تولد موجة كهرومغناطيسية وانتشارها نتيجة لتذبذب الشحنة بين موصلين

تسرى فى السلك حاملة معها وحدة التيار الكهربى مساوية لما سبق أن عرفناه باسم وحدة الشحنة الستاتيكية ، أو الساكنة (الكتروستاتيك) وبدلا من تخير تعريف بالذات من بين التعريفين الممكن استخدامهما ونبذ الآخر يفضل علماء الفيزياء استخدام التعريفين معاً ، وذلك بإدخال كمية ثابتة لترجمة أحد النوعين من الوحدات إلى النوع الآخر ، ولا يختلف هذا الوضع كثيراً مثلا عن حالة قياسات الحرارة حيث يمكن استخدام السعر أو الأرج (النسبة بينهما ٤,٢ × ١٠^٧) . ووحدة الشحنة الكهربية التى نعرفها باستخدام قانون كولوم للجذب والطرد الكهربى (الأول من التعريفين السابقين) هى المعروفة باسم الوحدة الكهربية الستاتيكية الساكنة (الكتروستاتيك) ، ويرمز لها بالرمز (و. ك. س .) بينما وحدة الشحنة التى نعرفها تبعاً لقانون أرستد الخاص بتأثير التيار الكهربى على القطب المغناطيسى يقال لهـا الوحدة الكهربية المغناطيسية (الكترومانجتك) ويرمز لها بالرمز

(و . ك . م .) وتساوى الوحدة الكهربية المغناطيسية ٣ × ١٠^{١٠} مرة قدر الوحدة الكهربية الستاتيكية ، بحيث إن التيار الذى يحمل معه وحدة كهربية ستاتيكية فى الثانية يؤثر بقوة تساوى $\frac{١}{٣ \times ١٠^{١٠}}$ من الداين* فقط فى وحدة القطب الموضوع على بعد سنتيمتر ، أما الجسمان اللذان يشحن كل منهما بشحنة تساوى وحدة كهربية مغناطيسية ، عند ما يكونان على بعد سنتيمتر واحد ، فيتنافران بقوة تساوى ٣ × ١٠^{١٠} داين .

ولما كان مكسويل يستخدم وحدات كهربية ستاتيكية فى كتابة معادلاته للتعبير عن المجالات الكهربية ، ووحدات كهربية مغناطيسية للتعبير عن المجالات المغناطيسية ، فقد ظهر المعامل ٣ × ١٠^{١٠} فى قوانينه ، وذلك عند ما تتضمن المعادلة الرياضية المجال الكهربى فى جانب منها والمجال المغناطيسى فى الجانب الآخر . كما أن استخدام هذه المعادلات من أجل وصف الموجات الكهرمغناطيسية المنتشرة دل على أن سرعة الانتشار تساوى عدديًّا النسبة بين الوحدتين ، أى ٣ × ١٠^{١٠} سنتيمترات فى الثانية الواحدة . واسترعى هذا الرقم الأنظار لأنه إنما يساوى تماماً سرعة انتشار الضوء فى الفراغ كما قيست بطرق عديدة قبل مولد مكسويل بمدة طويلة . وراح مكسويل يفكر فى الأمر وذهب إلى أنه من اللازم أن تكون موجات الضوء موجات كهرمغناطيسية ذات أطوال قصيرة جدًّا ، وأدى هذا الرأى إلى ظهور فرع هام من فروع الفيزياء هو :

(النظرية الكهرمغناطيسية للضوء) . ونحن اليوم نعلل التفاعل المتبادل بين الضوء والمادة ، ذلك التفاعل الذى يتضمن الظواهر التى على غرار إرسال الضوء وانتشاره وامتصاصه كنتيجة لقوى مؤثرة بين الموجات الكهرمغناطيسية القصيرة المرسلة والجسيمات الصغيرة المشحونة بالكهربية ، أى الكهارب أو الإلكترونات التى تسبح بلا انقطاع من حول نوى الذرات ذات الشحنات الموجبة . وفى مقدورنا الآن أن نفسر أصغر تفاصيل الظواهر والقوانين الضوئية باستخدام معادلات مكسويل .

---

* داين Dyne القوة التى تسبب أن كتلة مقدارها جرام واحد تغير سرعتها بمعدل سنتيمتر واحد فى الثانية لكل ثانية طوال مدة عملها . معجم وبيستر ص ٤٥٣

وكثيراً ما كان التوافق فى القيمة العددية بين المقادير الطبيعية التى يلوح أنه لا رباط بينها — مثل النسبة بين الوحدات الكهرستاتيكية والكهرمغناطيسية من ناحية ، وسرعة الضوء من ناحية أخرى — سبباً فى الوصول إلى كشوف جديدة هامة وتعميمات واسعة فى علم الفيزياء . ولسوف نرى فيما بعد فى هذا الكتاب كيف أن توافقاً مماثلا بين ثابتين من ثوابت الفيزياء — يتصل أحدهما بإشعاع موجات الضوء والحرارة من الأجسام الساخنة ، ويتصل الثانى بانبعاث الكهارب من الأسطح المضاءة بالأشعة فوق البنفسجية — تمخض عن ملاحظة عظمى لها قيمتها فى نشوء نظرية الكم .

الباب السادس

ثورة النسبية

ذكرنا فى الباب السابق كيف أنه فى أواخر القرن التاسع عشر تبلورت فكرة وجود وسط عالمى يملأ الفضاء الكونى وينبث بين سائر الأجسام المادية متداخلا معها ، وكيف أصبح ذلك الافتراض من دعائم علم الفيزياء . وتحت اسم أثير هيجنز استخدم هذا الوسط كطبقة من وراء المادة تنتشر فيها موجات الضوء ، كما أنه تحت اسم أنابيب فارادى اعتبر مسئولا عن القوى المتبادلة بين الأجسام المشحونة بالكهربا والممغطسة . ولقد أدت أعمال مكسويل إلى التوفيق بين هذين الوسطين الافتراضيين ، بأن بينت أن الضوء ما هو إلا موجات كهرمغناطيسية منتشرة ، كما أنها فى الوقت نفسه أمدتنا بنظرية رياضية رائعة ربطت بين سائر الظواهر المتضمنة للضوء والكهربية والمغناطيسية . ولكن على الرغم من هذا النجاح كله ظلت علوم الفيزياء عاجزة عن وصف خصائص هذا الوسط العالمى الغامض بنفس الألفاظ والتعبيرات التى يستخدمها فى وصف الأوساط المادية المألوفة لدينا ، مثل الغازات والأجسام الصلبة والسائلة ، وتناقضت نتائج كل المحاولات التى بذلت فى هذا الصدد .

أزمة الفيزياء التقليدية القديمة *

الحق أن ظاهرة استقطاب الضوء لم تدع مجالا للشك فى أننا نعالج هنا مسألة ذبذبات مستعرضة ، تتحرك فيها أجزاء الوسط مقبلة مدبرة فى اتجاه متعامد على اتجاه الانتشار . ولكن العجيب فى هذا الأمر أن الذبذبات المستعرضة لا يمكن أن توجد إلا فى المواد الصلبة التى ، بعكس السوائل والغازات ، تقاوم أية محاولة تعمل على تغيير أشكالها ، وعلى ذلك كان لزاماً أن يعتبر الأثير الذى ينتشر فيه الضوء

* هى الكلاسيكية (المترجم) .

مادة صلبة . وإذا كان الأمر هكذا ، وبفرض أن الأثير يملأ شتى أرجاء العالم والفضاء الذى من حولنا ، فكيف إذن نستطيع المشى والجرى على الأرض ، وكيف تدور الكواكب من حول الشمس منذ بلايين السنين ، دون اعتراض أية مقاومة مهما كان نوعها ؟

ولقد حاول عالم الفيزياء البريطانى الشهير اللورد كلفن حل هذا التناقض الظاهر بأن أسبغ على الأثير العالمى هذا صفات تحكى صفات غراء صانع الأحذية أو شمع الختم . ولهاتين المادتين خاصية تعرف باسم (اللدانة) ، فهى فى الوقت الذى تقصف فيه ، كما تقصف قطعة الزجاج تحت وطأة قوة كبيرة سريعة العمل ، نجدها تسرى أو تتدفق كالسوائل تحت تأثير القوى الضعيفة جداً (التى على غرار أوزانها) عند ما تعمل خلال فترة طويلة من الزمن . ويقول كلفن إنه فى حالة موجات الضوء ، حيث تغير القوة اتجاهها ببلايين بلايين المرات فى الثانية الواحدة ، يبدو الأثير العالمى على هيئة جسم صلب مرن ، بينما فى حالة الحركات الوئيدة ، كتحركات الناس والطيور وسبح الكواكب والنجوم فإنه يسمح لها دون مقاومة تقريباً . ولكن إذا كانت أنابيب فارادى ما هى إلا سلسلة من حالات الشد والضغط (والدفع) فى الأثير العالمى فإن المغناطيسات المستديمة والشحنات الكهربية الساكنة لن تتواجد خلال أية فترة زمنية يمكن ملاحظتها ، وذلك نظراً لأن التضاغط سوف يضمحل سريعاً تحت تأثير التغيرات أو الاستجابات التى يخضع لها هذا الوسط الغامض بفعل مرونته ولدونته . وإنه لمن اليسير جداً أن ينتقد أولئك الذين يصلون إلى استنتاجات خاطئة بعد معرفة الحقيقة والصواب ، ولكن أعجب العجب أن فطاحل العلماء الفيزيائيين فى القرن الماضى لم يفطنوا إلى ذلك ، فلو أنه كان للأثير أى وجود فإن خصائصه لابد أن تختلف تماماً عن خصائص وصفات الأجسام المادية العادية المعروفة لنا . والحق يقال لم يكن أحد يجهل أن جميع صفات الأجسام المادية العادية التى على غرار قابلية الغازات للتضاغط ، إنما ترجع إلى تركيبها الجزيئى ، وتنجم عن حركة الجزيئات ومجموعة القوى المؤثرة بينها . ويلوح أن أحداً ، فيما عدا الكيميائى الروسى دمترى مندليف الذى أسبغ على الأثير وزناً ذرياً قيمته الصفر (فى الجدول الدورى)* للعناصر ، لم يفكر قط فى أن

* من المعروف أن مندليف قسم العناصر بحسب أوزانها الذرية إلى مجموعات رتبها فى جدول هو « جدول الترتيب الدورى » (المترجم) .

للأثير العالمى تركيبه الجزيئى الخاص به ، وأنه على أية حال لا يقودنا مثل هذا الافتراض إلى تعقيدات إضافية فوق تلك التى تعترض سبيلنا ، وإذا كان لابد من تفسير هذه القوى التى تعمل بين المغناطيسات والأجسام المشحونة وانتشار الضوء فى الفضاء ، بوجود نوع من الوسط الخلفى ، فإن هذا الوسط لا يلزم أن يشابه بحال من الأحوال الأجسام المادية العادية التى نألفها . ولما كان العقل البشرى كثيراً ما يقنع ويقتصر على الآراء التقليدية (القديمة) ، فقد كان على أينشتين أن يخلصنا بعبقريته من عالم الأثير القديم المناقض لعالمنا ويقذف به بعيداً ، مستبدلا إياه بفكرة المجال الكهرمغناطيسى العام أو الممدد ، الذى يسبغ عليه حقيقة طبيعية تعادل تلك الحقيقة التى نسبغها على أى جسم مادى .

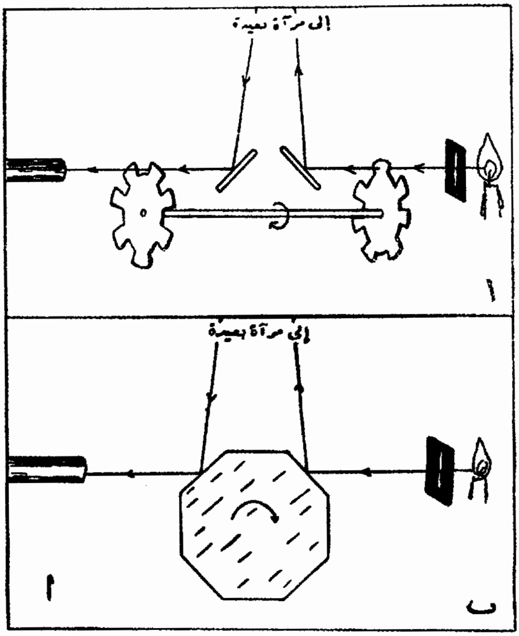
سرعة الضوء

عملت أول محاولة لقياس سرعة الضوء بمعرفة جاليليو ، الذى ذهب ذات مساء مع مساعده إلى الأرياف ، وحملا معهما مصباحين لكل مصباح منهما فتحة لها حاجب . وهناك فى الخلاء ، وقف كل واحد على بعد من الثانى جعلاه أكبر ما يمكن ، ولكن بحيث يسمح لكل منهما برؤية الآخر . ثم أجريا التجربة ، بأن جعل المساعد مصباحه يومض فى اللحظة التى أبصر فيها وميض مصباح جاليليو . وكان من الطبيعى أن يدل تأخر وصول الإشارة المرتدة على أن الضوء إنما ينتشر بسرعة محدودة يمكن قياسها . ولكن الذى حدث على أية حال أن جاءت هذه التجربة بنتيجة سلبية تماماً ، لأنه ، كما نعرف اليوم ، تبلغ سرعة انتشار الضوء من الكبر الحد الذى نتوقع فيه ألا يزيد تأخر الإشارة المرتدة على جزء من مائة ألف جزء من الثانية الواحدة . وبعد مضى أكثر من قرنين أعيد إجراء تجربة جاليليو بعد تحسينها وإدخال تعديلات جوهرية عليها بمعرفة عالم الفيزياء الفرنسى آرماند هيبوليت فيزو ، الذى استخدم الأجهزة الموضحة فى شكل (٦ — ١١) ، وهى تتكون من

عجلتين مسننتين ومثبتتين فى طرف محور طويل بحيث أن أسنان عجلة كل منهما تقابل تماماً الفتحات التى بين الأسنان فى العجلة الأخرى ، وبذلك لا يمكن للعين التى إلى اليسار أن ترى حزمة الضوء المنبعثة من المصدر الضوئى ، بصرف النظر عن الطريقة التى يلف بها المحور ، ولكن عندما تدار العجلتان بسرعة فائقة ، تبلغ الحد الذى يتحركان فيه مسافة تساوى نصف المسافة بين أى سنين متجاورتين فى نفس الوقت الذى يستغرقه الضوء للانتقال من عجلة إلى أخرى ، فإنه يكون من المنتظر أن تمر الحزمة الضوئية وتنفذ من العجلتين بسلام . ولقد عمد فيزو إلى زيادة المسافة التى يقطعها الضوء بين العجلتين زيادة كبيرة باستخدام ثلاث مرايا ، وضع إحداها بعيداً جداً على النحو الموضح فى الشكل ، وعندما راح يلف العجلتين بمعدل بلغ نحو عدة آلاف دورة فى الدقيقة ، ابتهج بملاحظة الضوء وهو يمر عبر الجهاز من غير عائق . وعندما عوض عن القيم التى حصل عليها فى قياس المسافة والزمن ، استنتج أن سرعة الضوء هى على وجه التحديد ٣ × ١٠^١٠ من السنتيمترات فى الثانية . وطابق هذا الرقم القيمة التى حصل عليها الفلكى الدانمركى ألاوس رومر ، من أرصاده الخاصة بالتأخر الظاهرى فى خسوف أقمار المشترى عندما كان الكوكب على أبعاد متباينة من الأرض ، وكان لم يمض على موت جاليليو زهاء الثلاثين عاماً .

ولا تستخدم طريقة فيزو هذه إلا لقياس سرعة الضوء فى الهواء (وهى تساوى على وجه التقريب سرعته فى الفضاء أو الفراغ) ، وذلك نظراً لأن المرآة التى استخدمت فى تكبير المسار الضوئى كان من اللازم وضعها على بعد كبير من الجهاز حتى يمكن مشاهدة الأثر الناتج . ولكن صديقه وزميله چين فوكولت (ولدا معاً فى عام ١٨١٩ ، وكانا من علماء فرنسا المرموقين) ، نجح فى تقصير المسافة بأن أبدل العجلتين المسننتين بمرآة تدار حول محورها . ولقد سمح جهازه المبين فى شكل (٦ — ١ ب) ، والذى يشرح نفسه بنفسه ، بتقصير المسار الضوئى إلى بضعة أمتار فقط ، وبذلك استطاع أن يمرر الضوء خلال المسار بأكمله فى الماء ، أو أى وسط آخر شفاف . وعند ما أجرى هذه التجربة وجد أن سرعة الضوء فى الأجسام المادية تقل عن قيمتها فى الفراغ ، وبذلك أمدت هذه النتيجة

وجهات نظر هيجنز بسند جاء متأخراً ، إلا أنه كان له وزنه وقيمته على أية حال ضد آراء نيوتن ، فإن النظرية الموجبة للضوء كانت قد قدرت سرعة الضوء فى الماء والزجاج . . . إلخ ، على أنها تساوى تماماً السرعة فى الفراغ مقسومة على معامل انكسار المادة الشفافة التى يمر خلالها الضوء .



شكل (٦ – ١)

(ا) طريقة فيزو ، (ب) طريقة فوكولت لقياس سرعة الضوء

سرعة الضوء فى الوسط المتحرك

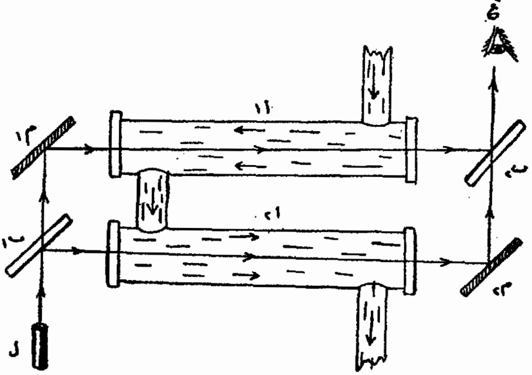
عندما وثق علماء الفيزياء فى القرن التاسع عشر من الطريقة التى يقيسون بها سرعة الضوء بكل دقة وعناية ، راحوا يجرون البحوث العديدة على انتشار الضوء على أمل أن تلقى تلك التجارب بعض الضوء على الأثير العالمى ، ذلك الوسط الغامض الذى افترضوا وجوده لانتشار موجات الضوء . وأجرى فيزو أهم تجربة فى هذا الصدد عام ١٨٥١ ، رغم أنه لم يفطن أحد إلى أهميتها وقيمتها العظمى إلا بعد

أن نشر أينشتين بحوثه لأول مرة . وكانت الفكرة (أو الغرض) من إجراء هذه التجربة الوقوف على مدى تغير سرعة الضوء تبعاً لحركة الوسط الذى ينتشر فيه . وبطبيعة الحال عند ما نقارن هذه الحالة بحالة أمواج الصوت عند ما تنتشر فى الهواء نجد أن سرعة هذه الأخيرة إنما تتأثر مباشرة بحركة كتل الهواء ، بحيث تزداد سرعة الصوت أو تنقص إذا انتشرت موجاته على التوالى مع اتجاه الريح أو فى الاتجاه المضاد . ونحن لانشك فى كل هذا ، إلا أن السؤال هو : هل يحدث نفس الشيء عند ما ينتشر الضوء خلال وسط متحرك ؟ وللإجابة على ذلك قرر فيزو أن يقيس سرعة الضوء عندما تنتشر موجاته على طول أنبوبة يجرى فيها الماء سريعاً ، وأن يعرف هل يستلزم ذلك إضافة سرعة المياه إلى سرعة الضوء فى الفراغ أو طرحها منها ؟ وبطبيعة الحال من المتوقع أن يكون التغيير فى سرعة الضوء فى هذه الحالة صغيراً جدًّا ، وذلك نظراً لأن أكبر سرعة يمكن تحقيقها فنيًّا ليسرى بها الماء فى الأنبوبة لا تعدو أن تكون كسراً صغيراً جدًّا بالنسبة إلى سرعة الضوء . وعلى ذلك فإن القياسات المباشرة لسرعة الضوء فى مثل هذه الحالة ، سواء باستخدام طريقة فيزو أو طريقة فوكولت السابق شرحهما لن تعطى أية فروق ، ولكن لما كان كل ما نطلبه ونتطلع إليه فى هذا الصدد يقتصر على معرفة (الفرق) بين سرعتى الضوء فى الماء المتحرك والماء الساكن ، فمن الممكن أن نستخدم هنا طريقة أكثر دقة ، تعتمد فى عملها على تداخل شعاعين ضوئيين ويبين شكل (٦ — ٢) المبدأ الذى تتضمنه هذه التجربة .

يسقط الضوء الذى له طول معين* من المصباح الزئبقى ل على لوح من الزجاج (ب$_١$) مغطى بطبقة رقيقة جدًّا من الفضة تبلغ من الرقة درجة تجعلها تكفى فقط لرد أو عكس نصف الشعاع ، على حين ينفذ النصف الباقى ليرتد بوساطة المرآة م$_١$ ، وعلى ذلك نحصل على حزمتين من الضوء متوازيتين ولهما نفس الشدة ، وتنتظم الذبذبات فيهما ليحدث بينهما توافق تماماً كما رأينا فى تجربة ينج التى شرحناها فى الباب الثالث . وتمر الحزمتان خلال الأنبوبتين ا$_١$ ، ا$_٢$ ومن ثم يجمعان معاً مرة أخرى بوساطة لوح الزجاج ب$_٢$. وعندما يكون الماء الذى فى الأنبوبتين

* هو الذى له لون معين بدلا من خليط الألوان (المترجم) .

ساكناً لا يتحرك تصل الحزمتان الضوئيتان إلى عين الراصد ع وقد اتحدت فى الطور ، (أى تتفق قمة الموجة فى إحداهما مع قمة الموجة فى الأخرى والحضيض مع الحضيض) ، وبذلك تزداد شدة إضاءة الحزمة . ولكن إذا حدث أن تحرك الماء فى الأنبوبتين فى اتجاهين متضادين ونجم عن ذلك أن سحب الماء معه موجات



شكل (٦ — ٢)

تجربة فيزو من أجل مشاهدة التغير الطارئ على سرعة الضوء المنتشر خلال الوسط المتحرك .

الضوء ، فإن الموجات التى فى الحزمة السفلى سوف تصل إلى ع قبل أن تصلها الموجات التى فى الحزمة العليا المناظرة ، وإذا ما كان الفرق يساوى تماماً نصف طول الموجة المستخدمة ، فإنه يحدث تداخل هادم (أى تنطبق القمة مع الحضيض والحضيض مع القمة) . ولنحاول أن نعمل تقديراً تقريبيًّا للسرعة التى يلزم أن يتحرك بها الماء فى $ب_١$ حتى يحدث هذا الفرق فى الطور . إذا أعطينا أن طول كل من الأنبوبتين المستخدمتين فى تجربة فيزو كان يساوى ١,٥ متراً ، أو ١٥٠ سنتيمتراً ، وأن طول الموجة التى استخدمت كان نحو ٠,٥ ميكرون (أو ٥×١٠^{-٥} سنتمترات) ، بحيث وجدت سلسلة من الموجات عددها ٣×١٠^{٦} موجة على طول الأنبوبة . ولكى نغير هذا العدد بقيمة تساوى نصف طول الموجة الواحدة (من ٣ ملايين إلى $٣\frac{١}{٢}$ مليون)[1] يلزم أن تزداد سرعة الضوء فى الأنبوبة التى يتحرك فيها الماء أو تنقص بكسر قدره $\frac{٠,٥}{٣ \times ١٠^{٦}}$ ، أى $١,٧ \times ١٠^{٧}$ [2] . ولما كانت سرعة الضوء

---

(١) الصواب هو من ٣ ملايين إلى ٣ ملايين موجة ونصف موجة . (المترجم) .

(٢) الصواب هو $١,٧ \times ١٠^{-٧}$. (المترجم) .

فى الماء تساوى نحو ٢ × ١٠^١٠ ستيمترات فى الثانية الواحدة ، فإن سرعة انسياب الماء اللازم توفرها للحصول على هذه النتيجة يجب أن تكون على وجه التقريب مساوية $\frac{٢ \times ١٠^{١٠}}{١٫٧ \times ١٠^{٧}}$[١] وهذه تساوى ١٠٠٠ ستيمتر فى الثانية ، أو عشرة أمتار فى الثانية . وهى قيمة برغم كبرها إلا أنه يمكن أن تسرى بها المياه فى الأنابيب. ومجمل القول أنه يمكن مشاهدة التغيرات المنتظرة فى سرعة الضوء عن طريق رصد أهداب التداخل فى تلك التجربة .

وبعد أن أجرى فيزو القياسات الدقيقة مع تغيير سرعة سريان الماء ، خرج بنتيجة تعتبر حلا وسطاً بين الاحتمالين الممكن ، حدوثهما وفحواها أن سرعة الضوء فى الماء المتحرك تختلف عن سرعته فى الماء الساكن . إلا أن الفرق يقل عن سرعة سريان الماء . ووجد فيزو من (إزاحة أهداب التداخل) أن سرعة انتشار الضوء فى اتجاه سريان الماء تزداد بمقدار ٤٤ ٪ من سرعة الماء ، بينما سرعة انتشار الضوء فى الاتجاه المضاد تنقص بنفس القدر . وعندما استخدمت سوائل أخرى وجد أن قيمة سحبها للضوء المنتشر خلالها تختلف وتتباين ، وتمخضت هذه التجارب عن اعتبار سرعة الضوء فى سيال متحرك هى تلك التى تعطيها المعادلة الآتية التى تم استنتاجها لتوافق نتائج التجارب (أمبيريكال)* .

$$س = \frac{ا}{ن} \pm (١ - \frac{١}{ن^{٢}}) \bar{س} ، .$$

حيث ن هى معامل انكسار السيال المستخدم ، و$\bar{س}$ سرعته ، وا هى سرعة الضوء فى الفراغ = ٣ × ١٠^١٠ واحدة . ولم يستطع فيزو ولا أى شخص آخر عاش فى تلك الآونة أن يصور ما يمكن أن تعينه هذه المعادلة ، وبقيت المسألة معلقة مدة نصف قرن ، حتى جاء أينشتين الذى برهن على أن هذه المعادلة الغامضة المستنتجة من التجارب إنما هى نتيجة مباشرة لنظرية النسبية .

---

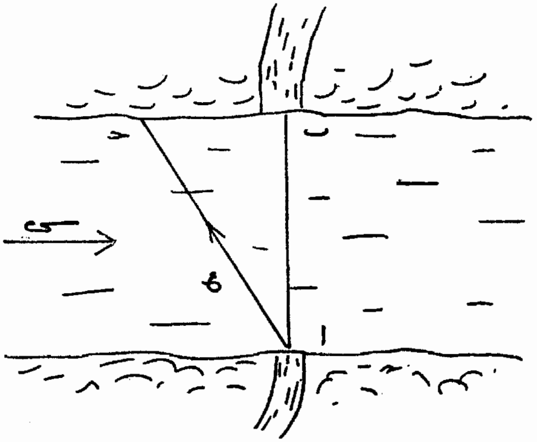
(١) الصواب هو $\frac{٢ \times ١٠^{١٠} \times ١٫٧}{١٠^{٧}}$ = ٣٥٠٠ سم ثانية أو نحو ٣٥ متراً فى الثانية. (المترجم) .

* القانون (التجريبى) هو الذى لا يتم استنتاجه رياضياً على أساس نظرية خاصة ، ولكنه الذى تم صياغته واختيار قيم الثوابت فيه بحيث يلائم ما يجمع من أرصاد وقراءات (المؤلف) .

سرعة الضوء على الأرض المتحركة

فى عام ١٨٨٧ ، عندما كان عمر أينشتين ثمانى سنوات ، أجرى عالم الفيزياء الأمريكى ا. ا. ميكلسون ومساعده ى. و. ومورلى تجربة أخرى رائعة . فإذا كان فى مقدور فيزو أن يلاحظ تأثير مجرى الماء السريع على انتشار الضوء خلاله ، فمن الأجدر أن نلاحظ أثر حركة الأرض عبر الفضاء فى سرعة الضوء المقيسة على سطحها . فليس من شك أن الأرض تجرى فى فلكها من حول الشمس بسرعة تقدر بنحو ٣٠ كيلومتراً فى الثانية ، وهذا يستلزم هبوب رياح أثيرية على سطحها . ومن الجائز جداً أن تمتد تلك الرياح الأثيرية فى هبوبها إلى باطن الأرض نفسها ، تماماً كما يحدث عند ما يقود فرد سيارة مفتوحة فى يوم خلا من الرياح . ولقد استخدم ميكلسون ومورلى فى تجربتهما نفس الفكرة التى استخدمها فيزو مع تحوير نظراً لعدم إمكان توافر ما يستعاض به عن الأنبوبتين المتوازيتين بحيث تنساب فيهما الرياح الأثيرية فى اتجاهين مختلفين . وبدلا من ذلك عمدا إلى قياس الزمن الذى يستغرقه الضوء فى رحلته الدائرية عند ما ينتشر فى اتجاه الرياح الأثيرية كما نتوقعها ، ثم فى رحلة مماثلة عند ما ينتشر فى اتجاه متعامد عليها . ولكى نفهم مبدأ تلك التجربة ، نضرب مثلا بقارب له محرك آلى ويعمل رحلات يعود فى نهايتها إلى نقطة القيام . ولنبدأ بالحالات التى فيها تتم رحلاته على طول نهر عريض ، ثم ننتقل بعد ذلك إلى الحالات التى يعمل فيها رحلات بعرض النهر . من الجلى والواضح أن القارب فى الحالة الأولى يجرى خلال جزء من الرحلة مع التيار فى النهر ، وتكون محصلة سرعته فى مثل هذه الحالة هى (ع + س) ، حيث ع هى سرعته بالنسبة للماء ، وحيث س هى سرعة سريان الماء فى النهر . وعند ما يقفل القارب عائداً يجرى ضد التيار ، وتكون سرعته فى مجموعها هى (ع — س) . فإذا كانت المسافة بين مكانين للنزول على طول النهر هى ل فإن الوقت ن اللازم للعودة يساوى :

$$ن = \frac{ل}{ع + س} + \frac{ل}{ع - س} = \frac{٢ ل ع}{ع^٢ - س^٢} = \frac{٢ \frac{ل}{ع}}{١ - \frac{س^٢}{ع^٢}}$$



شكل (٦ — ٣)

مسألة القارب الذى يعبر النهر

ولما كان الحد $\frac{٢ ل}{ع}$ يعين الزمن اللازم للذهاب والإياب عند ما يسكن الماء فى النهر يتضح لنا أن وجود التيار إنما يعمل على إطالة زمن الرحلة الكاملة . ويحدث (على الأخص) عند ما تكون س مساوية للسرعة ع أو أكبر منها أن القارب لن يعود بتاتاً ويمتد الزمن ت إلى ما لا نهاية .

وعند ما ندرس حالة القارب الذى يعبر النهر بالعرض — شكل (٦ — ٣) — ، نجد أنه يبدأ الرحلة من النقطة ا ليصل إلى النقطة ب على طول عرض النهر مباشرة ، يكون عليه أن ينحرف قليلا فى خط سيره ضد التيار حتى يعوض مايحدثه له التيار من إزاحة فى اتجاه انسيابه . وعلى ذلك نجد أنه فى خلال الفترة التى يقطع فيها المسافة ا ج بالنسبة للماء ، يكون عليه أن ينساب ضد التيار خلال المسافة ج ب فى نفس

الوقت . ومن الواضح أن النسبة $\frac{\text{ب ج}}{\text{ا ج}}$ هى عينها النسبة بين سرعة التيار وسرعة القارب المتحرك . وعند ما نطبق نظرية فيثاغورث على المثلث ا ب ج نجد أن :

$$\overline{\text{ا ب}}^2 + (\overline{\text{ا ج}} \times \frac{\text{ع}}{\text{س}})^2 = \overline{\text{ا ج}}^2$$

$$\text{أو } \overline{\text{ا ب}}^2 = \overline{\text{ا ج}}^2 \times (1 - \frac{\text{ع}^2}{\text{س}^2})$$

$$\text{أو } \overline{\text{ا ج}} = \frac{\overline{\text{ا ب}}}{\sqrt{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ع}^2}}}$$

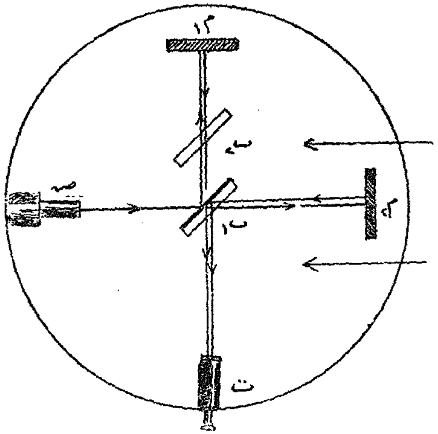
فإذا كانت أ ب = ل ، يكون الزمن اللازم للذهاب والإياب :

$$\text{ه} = \frac{2\,\overline{\text{ا ج}}}{\text{ع}} = \frac{2\,\frac{\text{ل}}{\text{ع}}}{\sqrt{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ع}^2}}}$$

وكما رأينا فى الحالة السابقة ، يكون هذا الزمن أطول من الفترة اللازمة لإتمام الرحلة فى حالة سكون الماء ، إلا أن المعامل اللازم لإجراء التصحيح ، وهو $\sqrt{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ع}^2}}$ أصغر من المعامل السابق $1 - \frac{\text{س}^2}{\text{ع}^2}$.

وعندما نبدل النهر الجارى بالرياح الأثيرية ، ونبدل القارب المتحرك بأمواج الأثير ، عند ذلك تتمثل أمامنا تجربة ميكلسون ومورلى . ويبين شكل (٦–٤) أجزاء هذا الجهاز الذى استخدماه ، ولقد عمدا إلى تثبيته فوق (بلاطة) من الرخام تطفو فوق سطح من الزئبق ، بحيث يمكن أن يدار الجهاز حول محوره دون كبير عناء أو هز أو ارتجاج . وعند ما سقطت حزمة ضوئية ض على لوح من الزجاج [موضوع فى مركز (البلاطة) ومغطى بطبقة رقيقة من الفضة تعمل على رد نصف الحزمة المتساقطة ، فى حين تسمح للنصف الباقى بالمرور] ، انعكست أو ارتدت

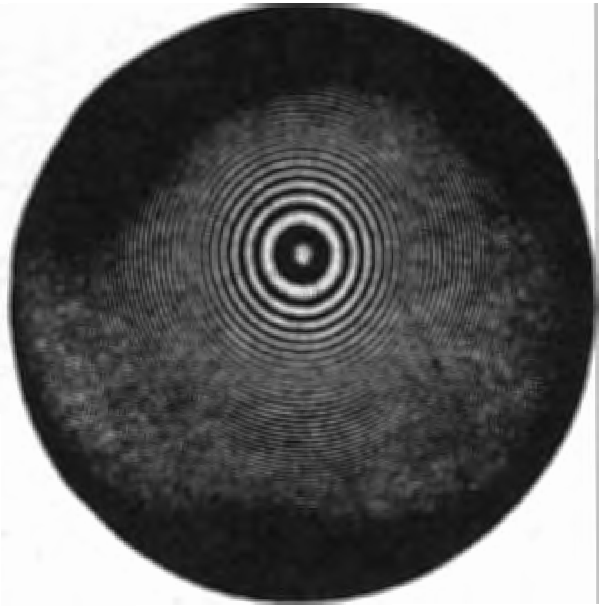
الحزمتان مرة أخرى بوساطة المرآتين م$_١$ ، م$_٢$ الموضوعتين على بعدين متساويين من المركز . وعند ما وصلت الحزمتان إلى لوح الزجاج المفضض ، نفذ جزء من



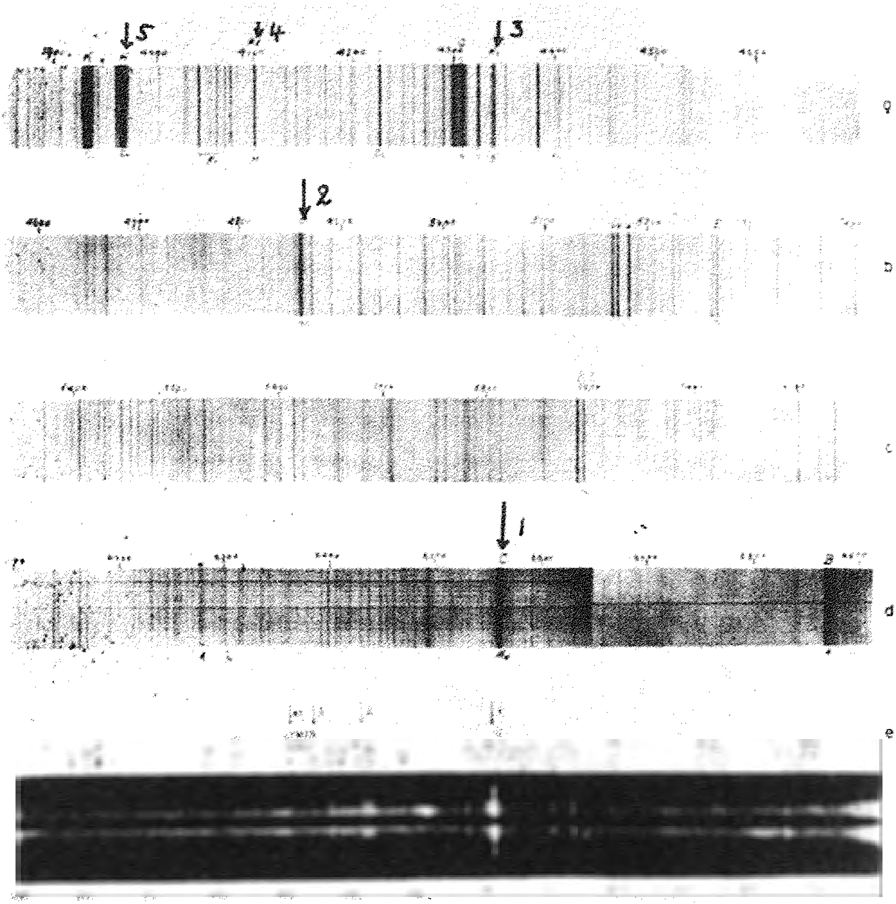
شكل (٦ — ٤)

جهاز ميكلسون ومورلى ، وهو يبين مسارات أشعة الضوء . ويظهر الشعاعان المنعكسان من المرآتين م$_١$ ، م$_٢$ ، وقد أزيح كل منهما بعض الشيء بالنسبة للآخر ، وذلك تسهيلا لإتمام الرسم وأدخل اللوح ب$_٢$ من أجل تعويض المسار الإضافى فى اللوح ب$_١$ للشعاع الذى يوجه إلى المرآة م$_٢$.

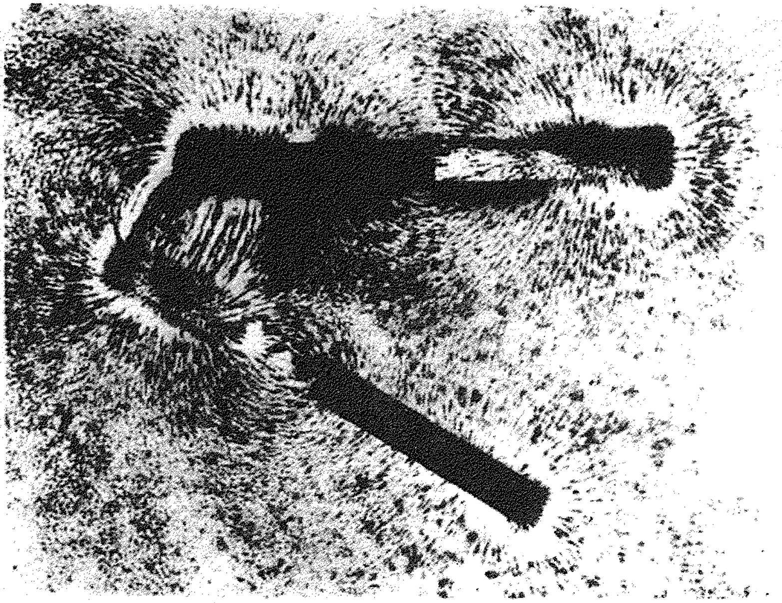
الشعاع المرتد من م$_١$ ، (ولم يأبه أحد بما حدث للجزء الباقى من الشعاع) ، فى حين انعكس جانب من الشعاع المرتد من م$_٢$ ، (ولم يأبه أحد كذلك بما حدث للجانب الآخر منه) ، وسار هذان الشعاعان قدماً ليدخلا المنظار المكبر (تليسكوب) ت ، فلو لم تكن هناك رياح أثيرية لوصل الشعاعان معاً فى نفس الطور وصحبتهما نهاية عظمى فى شدة إضاءة مجال المنظار . أما إذا وجدت الرياح الأثيرية وكانت تهب مثلا من اليمين إلى اليسار ، فإن الشعاع الذى ينتقل على عرض اتجاهها يتأخر بمقدار فترة تقل عن الفترة التى يتأخرها الشعاع المنتقل فى اتجاه الرياح ثم على عكس اتجاهها ، وينجم عن ذلك تداخل يعمل على إضعاف شدة الإضاءة ولو جزئياً . وفيما يلى تقدير عددى تقريبى لمثل هذه الحالة : النسبة بين الفترتين الزمنيتين ن$_١$ ، ن$_٢$ ، اللتين يستغرقهما الضوء عندما ينتشر فى الاتجاهين المتعامدين ، هى تبعاً للقانون السابق :



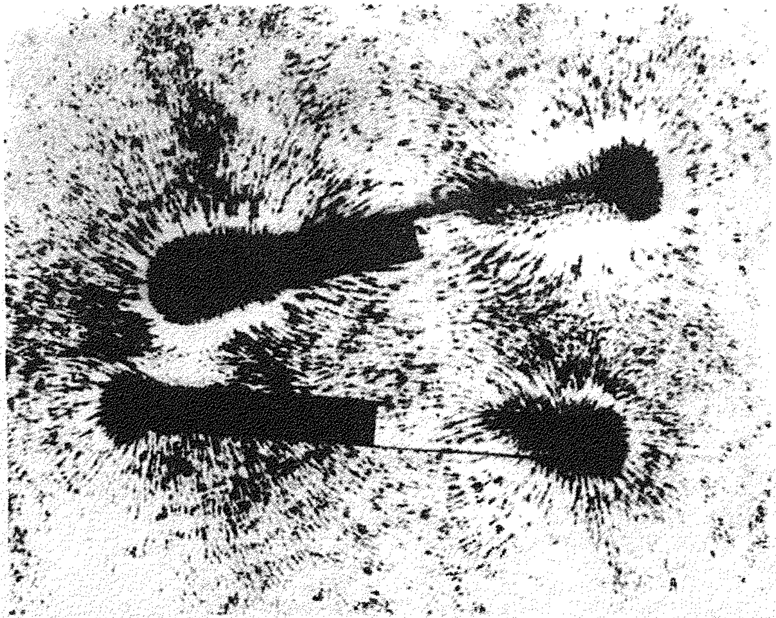
اللوحة رقم (١) . (العليا) حلقات نيوتن . (السفلى) الانكسار المزدوج فى بلورة من أيسلاند سبار بإذن من دالتن كورتس ، جامعة كلورادو .

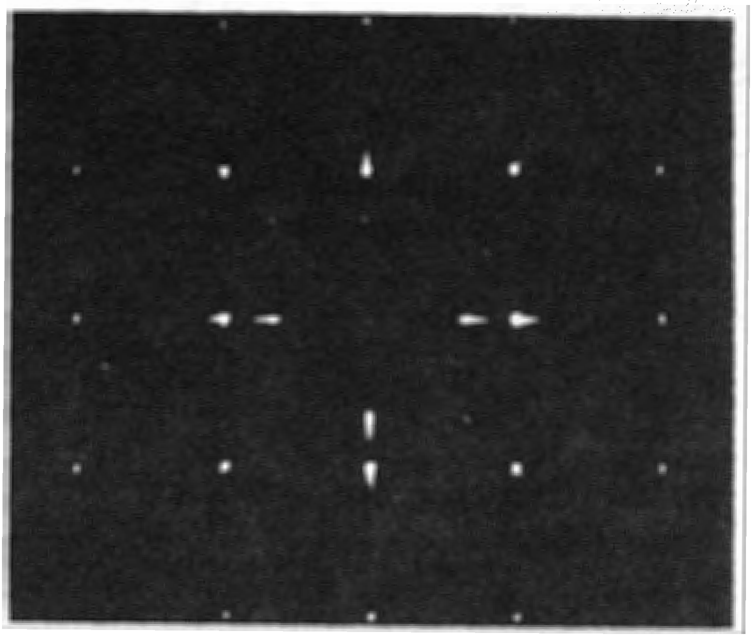


اللوحة رقم (٢) : (ا – ب – حـ – د) تمثل الجزء المرئى من طيف الشمس . أخذ بواسطة هليوسبكتروجراف ١٣ – قدم . تنتمى الخطوط المرقومة إلى طيف بالمرنلايدروجين .عن مرصد جبل ولسن . (هـ) تمثل طيف الأشعة فوق البنفسجية البعيد للشمس كما سجله صاروخ فى أعالى الجو. تنتمى الخطوط المرقومة إلى طيف ليمان للأيدروجين . عن معمل أبحاث البحرية .

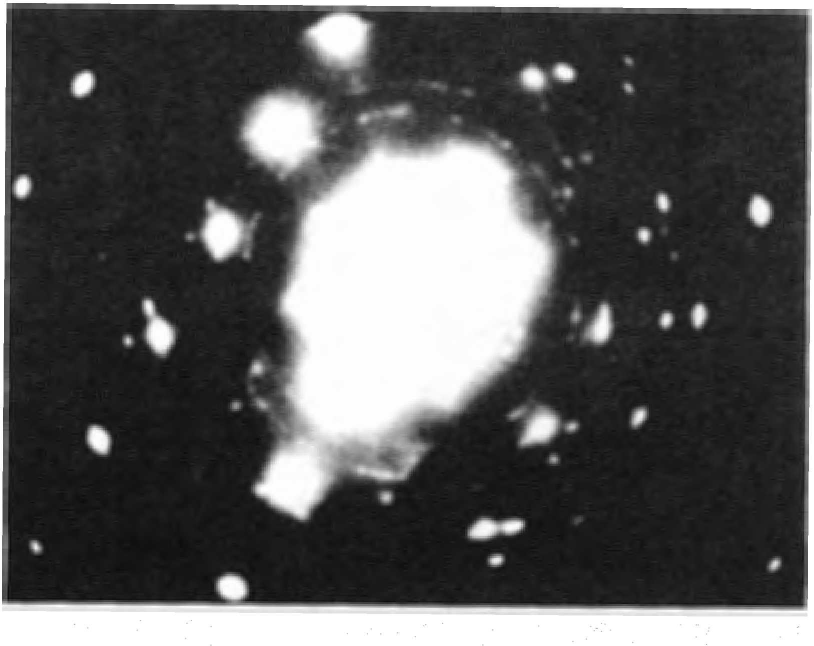


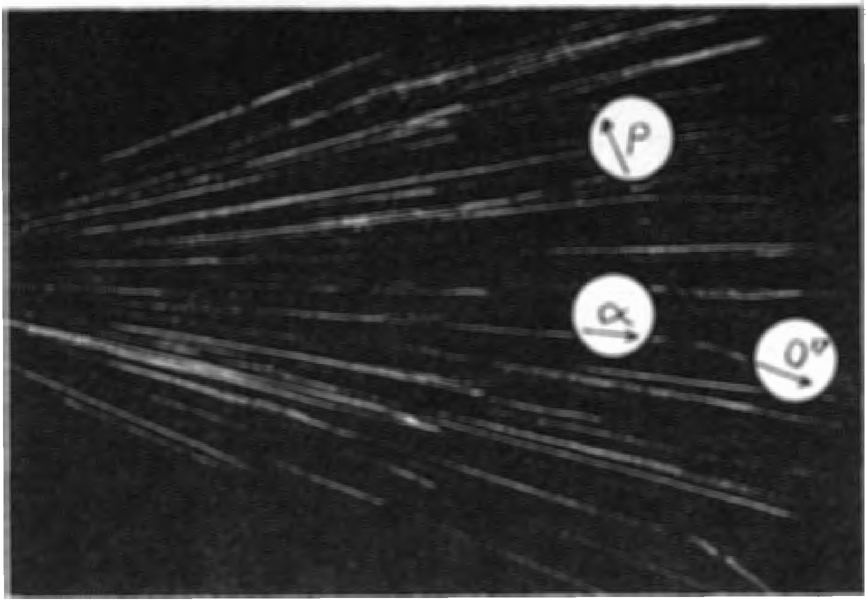
اللوحة رقم (٣)   خطوط القوى المغناطيسية بين مغناطيسين فى اتجاهين متضادين (العلوى) ، وفى نفس الاتجاه (السفلى) . بإذن من ر . كنكلن بجامعة كلورادو سابقاً .



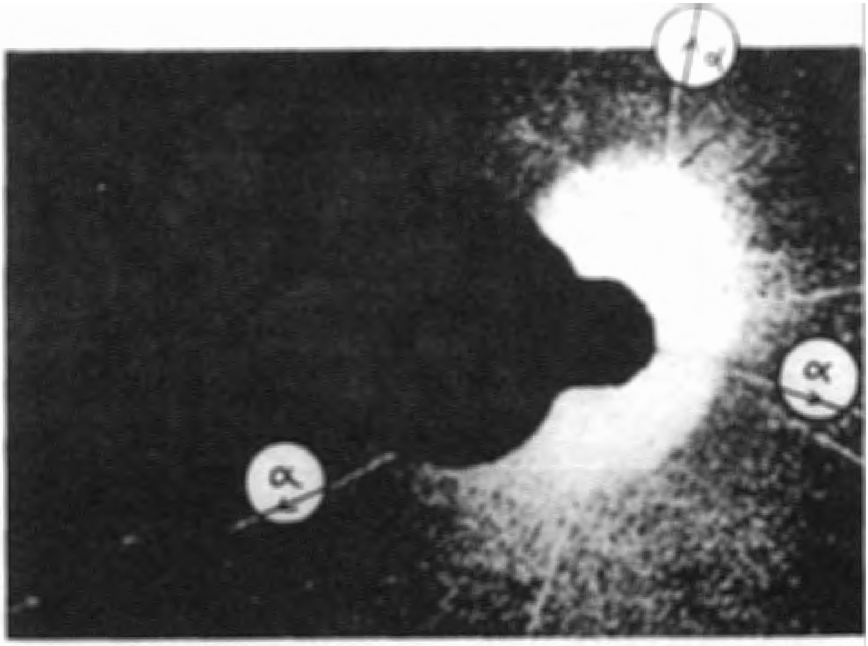


اللوحة رقم (٤) (العليا) حيود الأشعة السينية فى سبيكة من النيكل والحديد .
(السفلى) حيود كهارب ١٠٠ كيلو فولت فى نفس السبيكة . بإذن من ر . د . هيدفريخ ،
معامل بل تليفون .

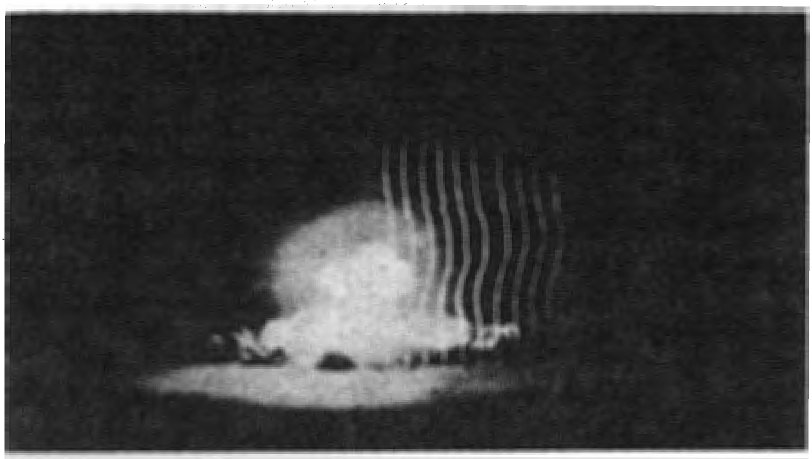




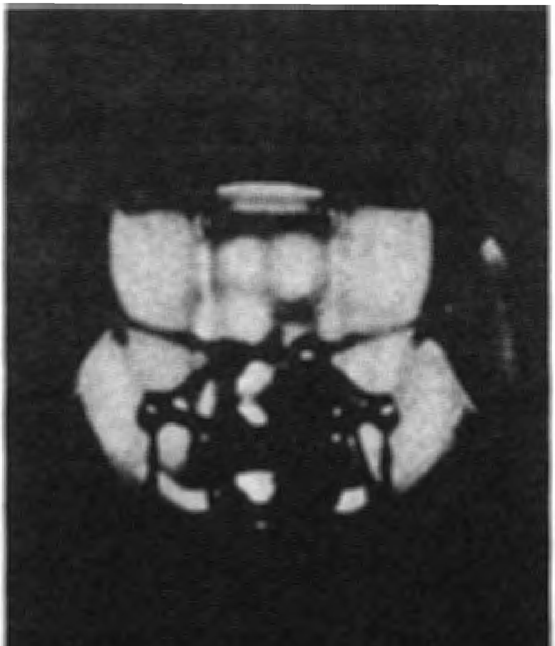
اللوحة رقم (٥) (العليا) : أول صورة أخذت للتحول النووى الصناعى داخل غرفة التكاثف بمعرفة ب . م . ى . بلاكت ، بجامعة كمبردج سابقاً . (السفلى) انقسام نواة البورون إلى ثلاثة من جسيمات ألفا ، بمعرفة ب . دى و ك . جلبرت بجامعة كمبردج سابقاً .

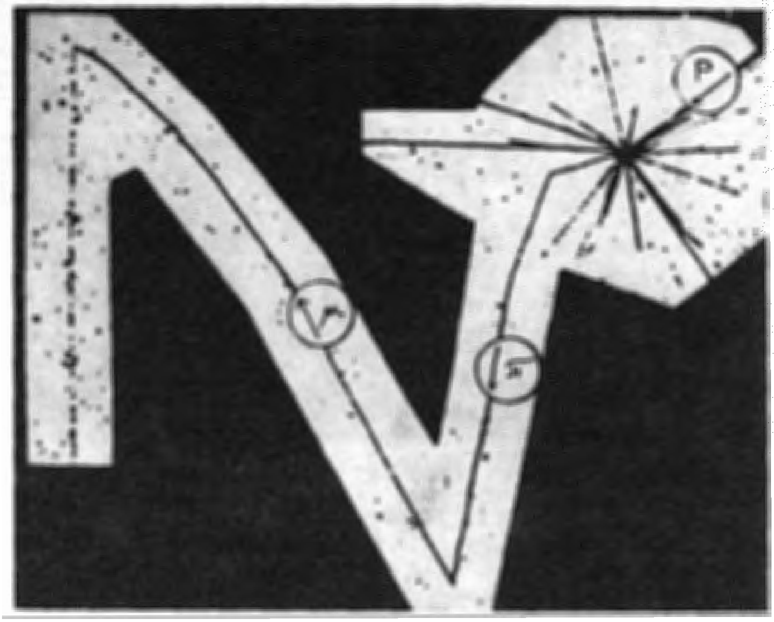


اللوحة رقم (٦) (العليا) : سيكلترون جامعة كلورادو وفيه يظهر قطب المغناطيس الكهربى والحزمة بمعرفة معمل البحوث النووية . (السفلى) مقطع فى بيفاترون جامعة كاليفورنيا بمعرفة معمل الإشعاع للورانس .

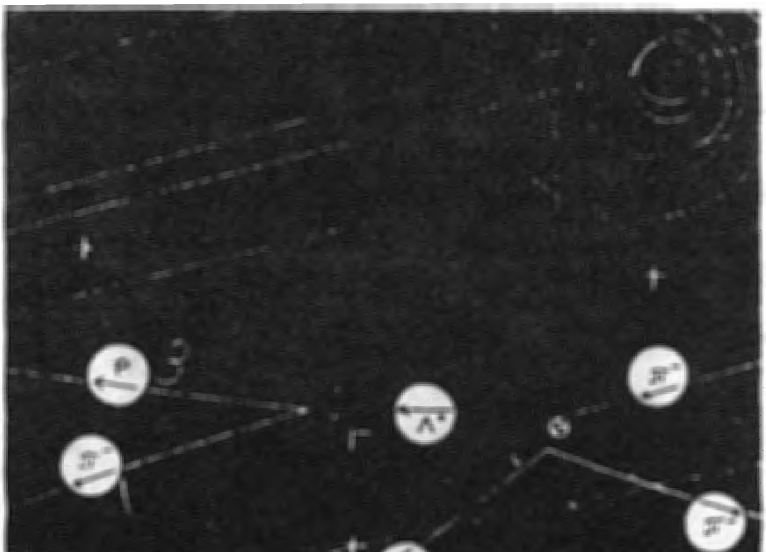


اللوحة رقم (٧) (العليا) : تجربة قنبلة ذرية فى نيفادا . (السفلى) مفاعل بركة سباحة فى أوكردج — بمعرفة لجنة الطاقة الذرية .





اللوحة رقم (٨) (العليا) تولد البيون وما يتبعه من تحلل إلى ميون وكهرب . الصورة الفوتوغرافية ذات المستحلب السميك أخذت بمعرفة ى . بيكب الذى كان يعمل سابقاً فى مجلس البحوث الكندى التابع للبحرية . (السفلى) سلسلة من الحادثات النووية فى غرفة من غرف النقاعة ، وقد أخذت بواسطة ل . الفارز بجامعة كاليفورنيا .



$$\frac{1-\frac{س^2}{ا^2}}{\sqrt{1-\frac{س^2}{ا^2}}}=\sqrt{1-\frac{س^2}{ا^2}}$$

حيث استبدلت قيمة السرعة ع بسرعة الضوء فى الفضاء وهى ا . وفى هذه الحالة تكون النسبة $(\frac{س}{ا})^2$ تساوى $(\frac{3\times10^6}{3\times10^{10}})^2=10^{-8}$ أو ٠,٠٠٠٠٠٠٠١

ويمكن البرهنة على أنه فى حالة كهذه عند ما تكون $\frac{س^2}{ا^2}$ صغيرة * ، فإن قيمة المعامل $\sqrt{1-\frac{س^2}{ا^2}}$ يمكن أن تمثل إلى درجة كبيرة من الصحة بالكمية

$1-\frac{س^2}{2ا^2}=1-0{,}000000005=0{,}999999995$ وعلى ذلك فإن الفرق المنتظر حدوثه فى وصول الموجتين لا يعدو خمسة أجزاء من ألف مليون جزء . فإذا كان قطر (بلاطة) الرخام يساوى ثلاثة أمتار (وهو رقم يمثل الحقيقة إلى حد كبير) ، كان الزمن الكلى اللازم لعبور الضوء (من لوح الزجاج إلى المرآة وبالعكس) يساوى $\frac{300}{3\times10^{10}}=10^{-8}$ ثانية ، وعلى ذلك صار الفرق بين زمنى الوصول إلى المنظار المكبر هو :

$5\times10^{-9}\times10^{-8}=5\times10^{-17}$ ثانية .

وبما أن زمن الذبذبة الواحدة عندما استعملت الموجة التى طولها 6×10^{-5} سم هو : $\frac{6\times10^{-5}}{3\times10^{10}}=2\times10^{-15}$ ثانية ؛ فعلى ذلك صار الفرق بين زمنى الوصول هو : $\frac{5\times10^{-17}}{2\times10^{-15}}$

$=2{,}5\times10^{-2}$ ،

* فى الحقيقة ، كانت هذه هى محتويات أول ورقة رياضية عملها السير إسحق نيوتن (المؤلف) .

أو $\frac{١}{٢}$٢ فى المائة من قيمة زمن الذبذبة الكاملة ، وبذلك يلزم أن ينجم عنها تداخل هدام ملحوظ . وكان المفروض أن يشاهد الأثر فى التجربة الأصلية ، ليس عن طريق نقص شدة الإضاءة ، ولكن عن طريق إزاحة سلسلة أهداب التداخل بقيمة تبلغ ٢,٥ ٪ من قيمة المسافة بينهما . وعند ما أدارا جهازهما بزاوية قدرها ٩٠ درجة (وهذا هو السبب فى تقويم الجهاز فوق الزئبق) ، وبذلك استبدلا الدور الذى تلعبه كل من المرآتين $م_١$ ، $م_٢$ أحدهما مكان الآخر ، كان من المنتظر أن تحدث نفس الإزاحة فى الاتجاه المضاد ، بحيث تصبح الإزاحة الكلية لأهداب التداخل هى ٥ ٪ من قيمة المسافة بينها وإذا ما تم رصد هذه الإزاحة ، كان ذلك دليلا على أن السرعة التى تجرى بها الأرض فى الفضاء هى ٣٠ كيلومتراً فى الثانية .

وعلى أية حال فقد أجريت التجربة ، ولم تحدث أية إزاحة على الإطلاق . فكيف كان ذلك وكيف يتأتى ؟ فهل كان أثير الضوء يسحب بمقدار ١٠٠٪ مع جسم الأرض المتحركة ؟ لقد دلت نتائج إعادة تجربة ميكلسون فى (بالون) يطفو على ارتفاع شاهق فوق الأرض على عكس ذلك الاحتمال ، وهكذا حار علماء الفيزياء فى تفسير هذه النتيجة ولم يصلوا فيها إلى جواب مقنع ، وتقدم عالم الفيزياء البريطانى (الإيرلندى الأصل) ج. ف. فتزجيرالد برأى ثورى وجرىء إلى أقصى الحدود ، فقد اقترح أن جميع الأجسام المادية التى تتحرك بالسرعة س عبر الأثير العالمى ينقص طولها أو تنكمش فى اتجاه الحركة بمعامل قدره $\sqrt{١ - \frac{س^٢}{ا^٢}}$. وأن مثل هذا الانكماش ، الذى افترض حدوثه لجميع الأجسام المادية بصرف النظر عن تكوينها الطبيعى يمكن أن يقلل المسافة التى بين لوح الزجاج المركزى والمرآة الموجودة فى اتجاه هبوب الرياح الأثيرية فى تجربة ميكلسون ومورلى بالقدر الكافى تماماً لتساوى زمنى الوصول ، وبذلك يدرأ حدوث أية إزاحة فى أهداب التداخل . ولقد عملت محاولات عديدة من أجل تفسير « انكماش فتزجيرالد » هذا الذى افترض افتراضاً ، عن طريق استخدام القوى الكهربية والمغناطيسية التى بين الذرات التى تكون الأجسام المادية ، إلا أن كل هذه المحاولات لم تسفر عن شىء . ولقد أوحى هذا الاقتراح الذى كان وليد المهارة والعبقرية بنوع من الشعر هو :

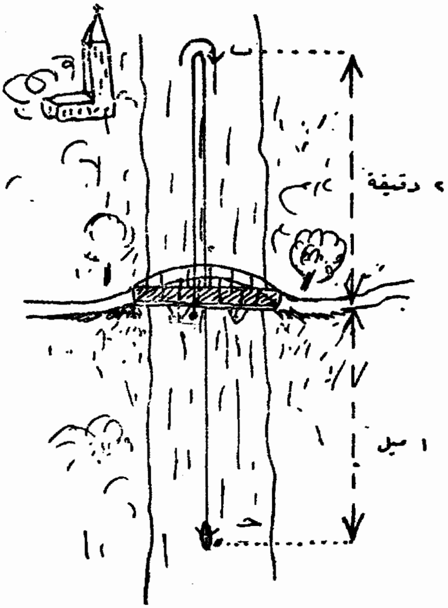
انظر إلى ما قاله فسك الصغير وأدلى به فى العلم من رأى خطير
هذى المواد ، لها فى الوجود ناموس بديع
هو دون شك انكماش فتزجيرالد السريع
ذاك الذى يحيل السيف إلى قرص وديع !

ولكن هذا كله لم يشتمل إلا على نصف الحقيقة ، وليست الحقيقة كلها .

قطعة موسيقية بين الفصول

ربما يكون من الأفضل قبل أن نتعرض لتفصيل تفسير أينشتين لتلك النتيجة السلبية التى تمخضت عنها تجربة ميكلسون ومورلى ، أن نناقش مسألة لها ملامح النسبية برغم أنها لا تمت للنظرية النسبية بصلة : ينساب رجل بقاربه ضد التيار — شكل (٦ — ٥) ، فى نهر من الأنهر ، ومعه على طرف القارب زجاجة من الخمر (الوسكى) نصف فارغة . وبينما كان القارب يمر تحت (الكوبرى) هزته موجة منعكسة من الدعائم التى يحمل عليها ذلك (الكوبرى) فسقطت الزجاجة فى الماء دون أن يشعر الرجل بها . فإذا استمر القارب بعد ذلك فى سيره ، ضد التيار خلال ٢٠ دقيقة ، على حين انسابت الزجاجة مع التيار ، ثم لاحظ الرجل بعد مضى العشرين الدقيقة اختفاء الزجاجة ، فأدار قاربه (بفرض أن الزمن اللازم لهذه العملية لا قيمة له ولا يدخل فى الحساب) ، وانطلق يجرى مع التيار بنفس السرعة التى كان يتحرك بها من قبل بالنسبة للماء ، حتى لحق بالزجاجة والتقطها على بعد ميل من (الكوبرى) . والسؤال الآن هو : ما هى سرعة جريان الماء فى النهر ؟ حاول أن تحل هذه المسألة من قبل أن تسير قدماً فى مطالعتك ، وعندئذ سوف تلمس كيف تبدو صعبة . والحق يقال : لقد أعجزت هذه المسألة العديد من الرياضيين البارعين .

ولكن الأمر يهون والعقبة تذلل إذا كنا بدلا من سرد الحوادث بالنسبة إلى خط الشاطىء كما هى العادة ، عمدنا إلى سردها أو وصفها بالنسبة إلى ماء النهر نفسه . فلنفرض مثلا أننا نجلس على لوح من الخشب يطفو منساباً مع التيار ونحن ننظر حولنا. فبالنسبة لنا يكون الماء فى حالة السكون ، ولكن الشواطىء والجسور « الكبارى »

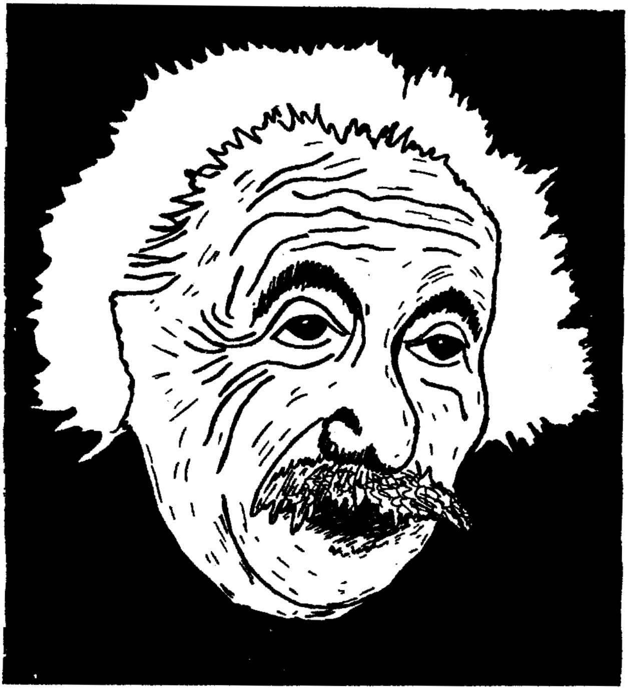


شكل (٦ — ٥)
مسألة اللحاق بالزجاجة التي سقطت

تبدو متحركة بسرعة معينة . وعندما يمر بنا القارب وتسقط الزجاجة (زجاجة الوسكى) إلى الماء ، يستمر القارب فى سيره ، وتطفو الزجاجة دون حركة عند النقطة التي سقطت فيها . (تذكر : إن الماء لا يتحرك بالنسبة لنا) . وبعد مضى ٢٠ دقيقة نرى القارب يلف ويعود إلينا قافلا ليلحق بالزجاجة . وبطبيعة الحال ، يستغرق القارب ٢٠ دقيقة أخرى فى العودة ، وعلى ذلك تظل الزجاجة فى الماء مدة قدرها ٤٠ دقيقة ، تكون الشواطىء والجسور (الكبارى) قد تحركت خلالها مسافة ميل واحد . وعلى ذلك تصير سرعة الجسر (الكبرى) بالنسبة للماء ، أو بمعنى أصح تصير سرعة الماء بالنسبة للجسر (الكبرى) والشاطىء ميلا فى ٤٠ دقيقة ، أو ما يعادل $1\frac{1}{2}$ من الأميال فى الساعة . إنها مسألة سهلة أليس كذلك ؟

نتف من تاريخ حياة أينشتين

لمجرد سرد الحقائق التاريخية نقول إن البرت أينشتين – شكل (٦ – ٦) – ولد فى الرابع عشر من مارس عام ١٨٧٩ ، فى البلدة الألمانية الذائعة الصيت برغم صغرها (من أجل القادة فى الغناء) وهى (أولم) بالقرب من ميونخ ، حيث كان لأبيه ورشة كهربية ، وبعد أن أمضى أيام صباه فى ميونخ نزح إلى سويسره حيث تلقى دراسته فى مدرسة (البوليتكنيك Polytechnical) بزيورخ ، كما كان يحصل على المال اللازم لقوته ومصروفه عن طريق حل المسائل والتمارين لمن هم دونه من الطلبة وأقل منه فهماً للرياضة والفيزياء . وفى عام ١٩٠١ تزوج وضمن لنفسه عملاً هادئاً ، رغم كونه غير مربح ، كفاحص للدمغات فى مكتب الدمغة السويسرى فى بيرن ، وفى عام ١٩٠٥ ، وكان قد بلغ السادسة والعشرين ، نشر



شكل (٦ – ٦)
البرت أينشتين

فى مجلة ألمانية (أنالن درفيزيك Annalen der Physick) ثلاث مقالات هزت عالم العلم . وكانت هذه المقالات الثلاث حول المجالات الثلاث العريضة التى تمثل علم الفيزياء وهى : الحرارة ، والكهرباء ، والضوء . وقد ذكرنا بالفعل واحدة منها فى الباب الرابع ، وهى تشمل على نظرية مفصلة تتعلق بالحركة البرونية ، كما كان لها قيمة عظمى فى نشوء التعبير الرياضى للظواهر الحرارية . وفسرت الأخرى قوانين الظاهرة الكهرضوئية على أساس فروض صبيانية تعتمد على الكم ، كانت قائمة فى ذلك الوقت ، وأدخلت فكرة الفوتونات أو وحائد سلات الطاقة الإشعاعية ، وهو ما سنقوم بشرحه فى الباب التالى . أما أهم هذه المقالات وأعظمها أثراً فى تطور علم الفيزياء فقد كانت الثالثة بعنوان غير جذاب ولا مثير إلى حد كبير ، وهو « حول الديناميكا الكهربية للأجسام المتحركة ». وخصص المقال لحل معضلات قياس سرعة الضوء وعجائبه . وكان هذا البحث أول ما نشر عن النظرية النسبية .

نسبية الحركة

لم يعد من السهل إغفال المصاعب المتراكمة والمتناقضات الجمة المتعلقة بتلك الطبقة الخلفية التى افترض العلماء لها وجوداً ، وراحوا ينسبون إليها التفاعلات الكهرمغناطيسية وانتشار أمواج الضوء . وتحولت من جراء ذلك إلى عقدة أثيرية لا سبيل إلى حلها ، وأصبحت عظيمة الشبه بأسطورة تلك العقدة التى تربط نير العبودية بصارى سفينة الملك المزارع الإغريقى القديم جورديوس . وتحققت النبوءة القائلة بأن من يفلك عقدة جورديوس سوف يحكم " آسيا " بأسرها على يد الإسكندر الأكبر ، الذى بتر العقدة بضربة صارمة من سيفه .

وكذلك أصبح البرت أينشتين زعيم الفيزياء الحديثة ، إذ بتر عقد الأثير بمنطقه الحاد ، ثم ألقى بما تخلف من الأجزاء الملتوية من الأثير العالمى خارج نافذة هيكل (معبد) العلوم الطبيعية .

ولكن إذا لم يكن فى الوجود أثير عالمى يملأ شتى أرجاء هذا الكون بأسره ،

وينتشر خلال ما فيه من مادة ، لما كانت هنالك حركة مطلقة* بحال من الأحوال إذ يستحيل أن يتحرك شخص بالنسبة إلى لا شيء . ولهذا قال أينشتين : إننا نستطيع فقط الكلام عن حركة أي جسم مادى بالنسبة إلى جسم آخر ، أوأى مجموعة من المحاور يمكن الرجوع إليها بالنسبة إلى محاور أخرى ، ويحق للراصدين اللذين ينتمى أحدهما إلى مجموعة من هذه المحاور ، على حين ينتمى الآخر إلى المجموعة الأخرى ، أن يقول أى منهما دون تمييز : « إنى فى حالة السكون ، أما هذا الشخص الآخر فهو يتحرك » . فإذا لم يكن هنالك أثير كونى يمدنا بجهاز عالمى كأصل يمكن أن يرجع إليه فى حالة حركة عبر الفضاء ، لانعدمت الوسيلة التى نميز بها مثل تلك الحركة ، وتكون أية عبارة تتعلق بها هى فى الحقيقة بمثابة الهراء الفيز يائى . وليس من العجيب إذاً أن يخفق ميكلسون ومورلى . عند ما راحا يقيسان سرعة الضوء فى اتجاهات مختلفة داخل معملهما على أمل ملاحظة ما إذا كان ذلك (المعمل) ، (ومن ثم الأرض ذاتها) ، يتحرك أو لايتحرك فى الفضاء .

ولنستعد الآن ما قاله غاليليو (صفحة ٩٠ إلى ٩٢ من هذا الكتاب) :

أقفل عليك مع صديق لك باب أكبر غرفة تحت سطح سفينة كبيرة ومعكما عدد من البعوض والذباب وغيرها من الكائنات الصغيرة ذات الأجنحة ، بعد أن تكون قد أحضرت معك إناء كبيراً به ماء بداخله بعض الأسماك ، وعلقت فى السقف زجاجة يتطرمنها الماء نقطة نقطة متساقطاً داخل فوهة ضيقة لزجاجة أخرى موضوعة تحتها . بعد ذلك لاحظ — والسفينة ساكنة لا تتحرك — كيف تطير تلك الحيوانات الصغيرة المجنحة بسرعة متجانسة تجاه جميع أرجاء الغرفة ، وكيف تعوم الأسماك دون تمييز بين جوانب الإناء ، وكيف تتساقط جميع النقط التى تقطر من الزجاجة العليا داخل الزجاجة السفلى . وإذا ما أردت أى شيء من صديقك فإنه لن يحتاج لكى يدفعه إليك إلى قوة أكبر فى اتجاه أو آخر ما دامت المسافات متساوية . وعندما تعمد إلى القفز بكل قواك تجد أن المسافة التى تقطعها تظل ثابتة إلى أى جهة ترغبها .

وبعد ملاحظة كل هذه الدقائق ورغم أنه لا ينكر أحد أن الأمور تجرى على هذا النحو ما دامت السفينة ساكنة ، اجعل السفينة تتحرك بأية سرعة تعجبك بشرط

* هى التى توصف بذاتها كطارىء فى الوجود ، وليس بالنسبة لشيء بالذات (المترجم) .

أن تظل الحركة منتظمة من غير ذبذبة هنا أو هناك . تجد أنه يستحيل عليك تمييز أى تغير يطرأ على الظواهر السابق ذكرها ، كما أنه لا يمكنك أن تحكم عن طريق أية ظاهرة منها ما إذا كانت السفينة تتحرك أو لا تتحرك بتاتاً .

ونحن نستطيع أن نصوغ كلمات غاليليو فى قالب آخر بالنسبة إلى تجربة ميكلسون ومورلى وذلك على النحو الآتى : احبس نفسك ومساعدك فى معمل كبير على الأرض ، ومعكما مصادر ضوئية ومرايا ، وبعض أجهزة الضوء المختلفة ، بالإضافة إلى آلات قياس القوى الكهربية والمغناطيسية والتيارات وما على شاكلتها ، ثم أقنع نفسك بطريقة منطقية بأنه إذا كانت الأرض ساكنة لا تتحرك وجب أن يكون انتشار الضوء وتأثير الشحنات بعضها على بعض والمغناطيسات والتيارات الكهربية غير متوقف على أوضاعها النسبية واتجاهاتها بالنسبة إلى جدران معملك . وبعد ذلك افترض كما هى الحقيقة ، أن الأرض تدور حول الشمس ، وكذلك تجرى معها حول مركز مجموعات النجوم التى تكون الطريق اللبنى (أو طريق التبانة) ، وعند ذلك لن يكون فى مقدورك أن تميز أقل تغيير يطرأ على جميع الظواهر السابقة ، بل لن تستطيع كذلك أن تستفيد من أية ظاهرة منها فى معرفة ما إذا كانت الأرض تتحرك أو لا تتحرك على الإطلاق .

وإذاً فإن ما كان صحيحاً بالنسبة إلى البعوض ، والسمك ، ونقط الماء ، والأجسام التى تلقى على ظهر السفينة التى افترض غاليليو أنها تمخر عباب البحر المتوسط الزرقاء ، يصبح صحيحاً كذلك بالنسبة لموجات الضوء وغيرها من الظواهر الكهرمغناطيسية على الأرض التى تسبح فى الفضاء . وبطبيعة الحال كان من السهل على غاليليو أن يتبين ما إذا كانت سفينته تتحرك أو لا تتحرك بالنسبة للأرض ، وذلك بالخروج من غرفته والصعود على ظهر السفينة ومشاهدة المياه أو خطأ الساحل ، ونحن نستطيع أن نعين حركة الأرض حول الشمس وكذلك حركة الشمس بالنسبة إلى النجوم بطريقة مماثلة ، وذلك بالنظر إلى النجوم ورصد ما يطرأ من تغيرات على أوضاعها فيما بينها (الإزاحة فى الوضع الظاهرى) ، وعلى أطوال الموجات الضوئية المقبلة منها (ظاهرة دبلر *) . ولكن إذا لم نعمد إلى إجراء عمليات

---

* تتضمن إزاحة بعض خطوط الطيف فى اتجاه معين بسبب الحركة النسبية ، ولها قانون يربط هذه الإزاحة بالسرعة النسبية التى يتحرك بها المصدر (المترجم) .

الرصد الخارجى كان من المحال ملاحظة الحركة عبر الفضاء عن طريق مجرد رصد الظواهر الكهرمغناطيسية ، تماماً كما يستحيل انجاز ذلك عن طريق رصد الظواهر الميكانيكية (أو ظواهر حركة الأجسام المادية) .

اتحاد المكان والزمان

ولقد فطن أينشتين إلى أن هذه الصورة العريضة لمبدأ غاليليو الخاص بنسبية الحركة إنما تتطلب تغييراً جوهريًّا فى أفكارنا الأساسية الخاصة بالزمان والمكان، فمنذ القدم والناس يعتبرونهما شيئين مستقلين ومنفصلين تماماً بعضها عن بعض ، وفى ذلك يقول نيوتن العظيم فى كتابه (برنسبيا Principia) :

« المكان المطلق ، فى طبيعته الخالصة ، ومن غير الرجوع إلى شيء خارجى ، يظل أبد الدهر متشابهاً وساكناً . الزمان المطلق ، والزمن الرياضى ، فى حد ذاته ، ومن طبيعته الخالصة ، يسرى بانتظام على الدوام دون الرجوع إلى شيء خارجى » .

وبينما يتطلب تعريف نيوتن للمكان ضرورة وجود جهاز خارجى مطلق يتخذ مرجعاً للحركة عبره ، يتضمن تعريفه الخاص بالزمان وجود جهاز خاص للتوقيت ، كالذى يمكن وجوده بعدد وفير من ساعات دقيقة أوساعات المعامل (كرونومترات) المضبوطة لتعطى نفس الوقت ، أو حتى ساعات الحائط الموزعة على أجزاء متباينة من الفضاء الكونى ، بحيث تعطى جميعها الزمن الكونى القياسىَ . وبينما غض الطرف عن فكرة المكان المطلق بثبوت سرعة الضوء التى برهنت عليها التجارب ، نجد أن هذه النتيجة كذلك قضت على جهاز التوقيت العالمى . ولكى نفهم هذا البلاء المسمى بالتوقيت العالمى ، دعنا نستعرض خير الطرق التى نستطيع بها ضبط ساعتين تفصل بينهما مسافة معينة . بطبيعة الحال يمكن لموظف فى شركة للتوقيت العالمى[١] أن يسافر متنقلا من مكان إلى آخر . حاملا معه ساعة دقيقة للزمن القياسى ، وهذا هو عين ما كان يفعله ملاحو العهود الماضية عند ما كانوا يحملون معهم فى سفنهم ساعات ضبط دقيقة ، ولكن من الذى يضمن أن تستمر تلك الساعات الدقيقة

---

(١) بفرض وجود مثل هذه الشركة الخيالية (المترجم) .

فى عملها دون حدوث خطأ فى الزوال ؟ أما الطريقة الحديثة للتوقيت فتعتمد كما نعرف على إشارات اللاسلكى التى تتضمن إذاعات الوقت مرسلة بسرعة الضوء . ومن الوجهة العملية على الأرض ، يمكن بكل سهولة إهمال أى تأخير طفيف ينجم عن كون أن سرعة الضوء محدودة وليست لا نهائية ، إلا أن هذا التأخير يعظم أمره بكل تأكيد عند ما نتعرض لمسألة التوقيت بين الكواكب ، فقد يصل إلى عدة ساعات . ولكن على أية حال يمكن التغلب على هذه الصعوبة بسهولة عندما نعمل على إرسال الإشارة بحيث تروح وتجىء عن طريق ردها (أو عكسها) — دون أى تأخر أو ضياع فى الوقت بتاتاً — من محطة الاستقبال ، بمعنى أنه إذا أرسلت إشارة الوقت فى اللحظة $ن_١$ ، وارتدت إلينا فى اللحظة $ن_٢$ ، فإن التوقيت الصائب السليم للساعة التى فى محطة الاستقبال لحظة وصول الإشارة يلزم أن يكون $\frac{ن_١ + ن_٢}{٢}$ ، ولما كانت سرعة الضوء حسب تجربة ميكلسون ومورلى ثابتة ولا تتغير فى الفراغ بصرف النظر عن ظروف الحركة القائمة ، فإنه يجب اعتبار هذه الطريقة الأخرى التى وصفناها مطلقة الدقة ، ولا غبار عليها ، والطريقة الأخرى التى يمكن اللجوء إليها بدلا من ذلك هى إرسال إشارتين ضوئيتين فى اتجاهين متضادين من نقطة تقع تماماً فى منتصف المسافة بين محطتين ، واعتبار الساعتين مضبوطتين إذا أعطتا أو أشارتا إلى نفس الوقت عند وصول الإشارتين إليهما .

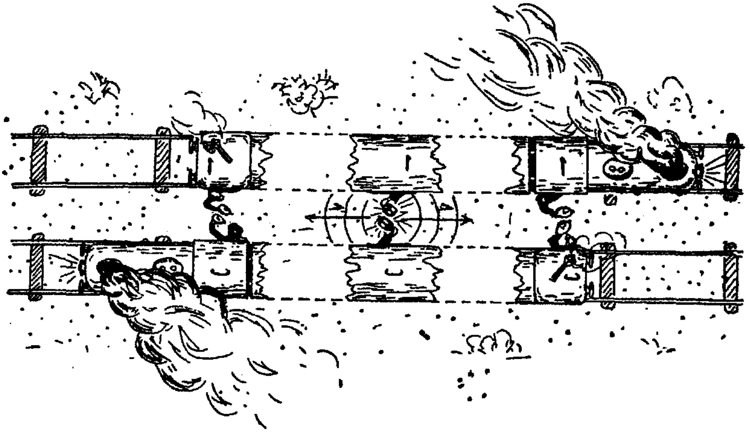
والخطوة الثانية التى تلى تلك هى تعيين العلاقة القائمة بين الساعة وجهازين يتحرك أحدهما بسرعة منتظمة بالنسبة إلى الآخر .

وتتضمن الخطوة الثانية إيجاد العلاقة أو الارتباط بين الساعات على جهازين منفصلين يتحركان نسبيًّا بسرعة منتظمة ، كما يحدث مثلا عند تلاقى قطارين من قطارات السكة الحديد يسيران فى اتجاهين متضادين ، وهو خير مثل نختاره لهذه الخطوة ، وذلك لأن موظفى السكة الحديد كثيراً ما يعظم افتخارهم بساعاتهم الكبيرة المطلية بالذهب والتى تعطى الوقت بكل دقة . ولكى تتم عملية توحيد الوقت يكون على المكلف بالإشارة (الأشرجى) أن يلوح بمصباحه من نقطة فى منتصف

* زمن عبور خط الزوال (المترجم) .

القطار ، على حين يعمد المهندس * والمتابع (أو المراقب) وهما يطلان على الترتيب من القاطرة والعربة الخلفية (سبنسه) ، إلى ضبط ساعتيهما فى اللحظة التى يصلهما فيها الضوء .

وتذكرنا هذه الطريقة التى وصفناها بمحاولة غاليليو القديمة لقياس سرعة الضوء عن طريق رصد بريق ضوء الفانوس ، إلا أننا لا نعنى هنا أن مثل هذه التجربة يلزم إجراؤها فعلا بعمال قطارين من قطارات السكة الحديد ، وإنما هى على أية حال ما كان يحلو لأينشتين أن يسميها « تجربة ذهنية » ، أو « آين جدنكن اكسبرمنت » Eine Gedenken experiments ، وهى التى يقتصر فيها الأمر على مجرد تصور الفرد للوضع ومحاولة استنتاج ما سيحدث على أساس النتائج المعروفة بالتجربة (التى على غرار تجربة ميكلسون ومورلى مثلا) .



شكل (٦ — ٧)

ضبط الساعات فى قطارين يتحركان أحدهما بالنسبة للآخر

وعند تطبيق هذه الطريقة على كل من القطارين ا ، ب ، نستطيع ضبط الساعات التى فى كل منها لتقرأ نفس الوقت ، ومن ثم نواجه مسألة مقارنة التوقيت على قطار منهما بالتوقيت على القطار الآخر . ويمكن إنجاز ذلك فى اللحظة التى تمر

* هو سائق القطار (المترجم) .

فيها القاطرة ا بمحاذاة العربة الخلفية ب ، والعربة الخلفية ا بمحاذاة القاطرة ب — شكل (٦—٧) — وليس من شك أنه فى تلك اللحظة يكون فى مقدور مهندس القاطرة ا ومراقب القاطرة ب مقارنة ساعتيهما مباشرة ، وذلك بأن ينحنى كل منهما مطلا من نافذته ليضع ساعته مع ساعة زميله جنباً إلى جنب . ويمكن أن يحدث المثل بالنسبة للمراقب فى ا والمهندس فى ب .

ويصبح فى إمكاننا إيجاد العلاقة بين مقارنات هذه الساعات بهذه الطريقة المباشرة وما سبق أن شرحناه من مقارنة لأمواج الضوء بافتراض أن اثنين من عمال الإشارة فى ا ، ب يهزان مصباحيهما فى اللحظة التى عندها يصبح أحدهما بحذاء الآخر تماماً فى أثناء مرور القطارين . وبطبيعة الحال سوف لا توجد فى هذه الحالة سوى موجة ضوء واحدة نظراً لانطباق أحد المصباحين على الآخر فى تلك اللحظة .

ولنتتبع الآن نتيجة مثل هذا العمل : لما كان الضوء ينتشر بسرعة محدودة فإنه سوف يستغرق بعضاً من الوقت قبل أن يصل إلى مؤخرتى القطار ، وعند ما يصل إلى نهايتيه تكون القاطرة ا قد آلت إلى يسار العربة الخلفية ب على حين تكون العربة الخلفية ا قد آلت إلى يسار القاطرة ب ، وعلى ذلك فإن موجة الضوء بعد أن تمر بالعربة الخلفية ب تستغرق بعض الوقت لتصل إلى القاطرة ا . ولهذا فإنه إذا نجم عن الاتفاق المبنى على طريقة الإشارة الضوئية لضبط الساعات ، أن عمد المهندس ا والمتابع ب إلى ضبط ساعتيهما بحيث تعطى كل ساعة منهما نفس الوقت عند ما يبصر المهندس والمتابع موجة الضوء ، فإنه من اللازم أن تكون ساعة المهندس أ متخلفة وراء ساعة المتابع ب لحظة مرورهما بعضهما ببعض . وبنفس الطريقة والاستدلال تكون ساعة المتابع ا متقدمة على ساعة المهندس ب لحظة وقوعهما معاً . ولما كان الناس فى القطار ب متأكدين من أن ساعاتهم قد تم ضبطها بكل دقة ، لاستخدامهم طريقة الإشارة الضوئية ، فإنهم سوف يصرون إصراراً على أن الساعات التى فى ا غير مضبوطة ، بمعنى أن الساعة التى فى القاطرة ا تؤخر عن الساعة التى فى الغرفة الخلفية لنفس ذلك القطار ، وكذلك يخالج الشك ركاب القطار ا ، لاعتبارهم أن ساعاتهم مضبوطة تماماً ، فى أمر ضبط ساعات القطار ب . فيقول مهندس ا إن ساعة متابع القطار ب مقدمة وتسبق قراءتها الوقت

المضبوط ، بينما يصر متابع ا على أن ساعة المهندس ب تؤخر ، وهكذا يتفق الاثنان على خطأ ضبط الساعات فى القطار ب ، وأن الساعة التى فى القاطرة ب تؤخر بالنسبة إلى الساعة الموجودة فى الغرفة الخلفية ب . ولن ينتهى هذا الجدل ، وذلك نظراً لأنه لا توجد ميزة معينة تفضل أحد القطارين ا ، ب على الآخر ، ويكون علينا أن نخرج بنتيجة أن الساعات التى تضبط فى جهاز معين تبدو كأنما هى غير مضبوطة بتاتاً عند رصدها من جهاز آخر يتحرك بالنسبة للجهاز الأول ، والعكس بالعكس ، وفى معنى آخر ، عند ما يتم حصول حادثتين تفصل بينهما مسافة ما (كطول القطار) فى جهاز معين فى نفس اللحظة ، فإنهما يظهران كأنهما لم يحدثا فى نفس الوقت عندما يرصدان من جهاز آخر يتحرك بالنسبة إلى الجهاز الأول . وهكذا يتضح لنا أن المكان يجوز تبادله ، ولو جزئيًّا على الأقل ، مع الزمان ، وأن أى حادثتين يفصل بينهما فاصل مكانى بحت فى جهاز معين ، يمكن أن يؤدى بهما هذا الانفصال المكانى إلى وجود فرق زمنى بينهما عند رصدهما من جهاز آخر فى حالة من الحركة النسبية .

ولكى نوضح هذه العبارة ونقربها للأذهان ، نضرب مثلا برجل يتناول غداءه فى عربة أكل بقطار يجرى ، فيتناول حساءه أولا ، فاللحم ، ثم الحلوى أو الفاكهة . وتتم هذه الحوادث كلها فى نفس المكان (نفس المائدة) بالنسبة للقطار ، ولكن فى أزمنة مختلفة . ومهما يكن من شىء فإنه من وجهة نظر الراصد على الأرض يتناول الرجل حساءه وحلواه أو فاكهته فى مكانين تفصل بينهما عدة أميال . ونحن نستطيع أن نصوغ هذه الحقيقة التافهة بقولنا : (إن الحوادث التى تتم فى نفس المكان ولكن فى أزمنة مختلفة فى جهاز بالذات ، تتم فى أمكنة مختلفة عند رصدها من جهاز لآخر يتحرك بالنسبة إلى هذا الجهاز) . والآن عند ما نبدل كلمة « مكان » الواردة فى الجملة السابقة بكلمة « زمان » ، والعكس بالعكس تصبح على النحو الآتى : « إن الحوادث التى تتم فى نفس الزمان ولكن فى أمكنة مختلفة فى جهاز بالذات ، تتم فى أزمنة مختلفة عند رصدها من جهاز آخر يتحرك بالنسبة إلى هذا الجهاز » . وهذه هى عين النتيجة التى توصلنا إليها فيما سبق .

وإذا ما صارت الفترة الزمنية التى تساوى الصفر أكبر من الصفر عند رصدها

بجهاز يتحرك، فإن أى فترة زمنية محدودة تقع بين حادثتين يلزم أن تزداد كذلك عند ما ترصد من نفس هذا الجهاز . وهذا هو « التمدد الزمنى » المشهور أو التأخير والإبطاء فى الساعة (تمشياً مع جميع العمليات الأخرى الفيزيائية والكيميائية والحيوية) عند رصدها من جهاز متحرك . وعلى غرار كافة ظواهر النسبية يكون التمدد الزمنى متجانساً بالنسبة إلى جهازين يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض، وبينما تشاهد الساعات التى فى القطار ا بوساطة ركاب القطار العابر ب كأنها تؤخر فى تقدير الزمن، نجد أن ركاب القطار ا يصرون على أن التأخير إنما يحدث فى ساعات القطار ب . ويمكن البرهنة على أن التأخير النسبي فى الساعة إنما يعطيه القانون :

$$ن = \frac{ن.}{\sqrt{١ - \frac{ع^٢}{أ^٢}}}$$

حيث أ هى سرعة الضوء كما سبق ، ع هى السرعة النسبية للجهازين . وهذا القانون شبيه بقانون انكماش فيتزجيرالد ، إلا أن الجذر يظهر هنا فى المقام .

ولقد شوهدت ظاهرة إبطاء كافة العمليات الطبيعية التى تصاحب الأجهزة السريعة الحركة بطريقة مباشرة فى حالة اضمحلال (الميسونات) ، تلك الجسيمات الأولية غير المستقرة والتى تكون جانباً رئيسياً من الأشعة الكونية التى تهبط إلى سطح الأرض بسرعة عالية جداً ، وسوف ندرسها بتفصيل أكثر فى آخر باب من أبواب هذا الكتاب .

وهناك فكرة تتجه إلى أن توضع داخل قمر من الأقمار الصناعية التى تدور حول الأرض ساعة ذرية ، وهى آلة دقيقة جداً لقياس الزمن تضبط فيها حركة العقارب بوساطة ذبذبات جزيئات من الغازات الموضوعة داخلها . وعند ما نقارن بوساطة الإشارات اللاسلكية معدل الساعة التى فى القمر الصناعى مع ساعة مطابقة لها تماماً ومثبتة على الأرض ، يكون من الممكن إثبات صحة ظاهرة تمدد الزمن على مقياس كبير .

ميكانيكا النسبية

يستلزم انكماش أبعاد المكان وتمدد فترات الزمان عند رصدها من جهاز متحرك ضرورة عمل تغييرات جوهرية فى القوانين والمعادلات التى تربط قياسات المكان والزمان فى مجموعة معينة من المحاور* مع قياسات نفس هذه الكميات عند ما تؤخذ فى مجموعة محاور أخرى تتحرك بالنسبة إلى المحاور الأولى . لنأخذ مثلا جهازى المحاور (س ، ص) ، (سَ ، صَ) اللذين يتحركان بسرعة نسبية ع ، ثم تجعل حساب الزمن فى الجهازين ابتداء من اللحظة التى تنطبق فيها نقطتا الأصل و ، وَ فوق بعضهما بعضاً . لنفرض أن شيئاً مثل ب وضع ليسكن (أو ليثبت) على محور السينات للجهاز الثانى وعلى بعد سَ من نقطة الأصل وَ فما هى قيمة الأحداث السينى س لهذا الشىء على مجموعة المحاور الأولى فى الزمن ن، أى ما هى المسافة المقيسة من نقطة الأصل و ؟ يكون الجواب بسيطاً جداً إذا ما عمدنا إلى استخدام وجهة نظر نيوتن التقليدية، فإنه خلال الزمن ن تنفصل نقطتا الأصل و ، وَ بمسافة تساوى ن × ع ، وعلى ذلك فإن :

سَ = س + ع ن ،

كما تستطيع أن تضم إليها كذلك المعادلة :

نَ = ن

التى تعبر فى بساطة عن تعريف نيوتن للزمن العالمى المطلق .

وقبل مجىء أنشتين كانت هاتان المعادلتان ، وهما ما نطلق عليهما اليوم اسم « طريقة غاليليو فى تحويل الإحداثيات » ، بمثابة البديهيات ، ولم يعمد أحد إلى كتابة القانون الثانى على الإطلاق . ولكن احتمال التحويل الجزئى للأبعاد المكانية إلى فروق زمنية يتطلب إبدال هذه القوانين التى تبدو من التفاهة بمكان بقوانين أخرى أكثر تعقيداً . ويمكن التدليل على أنه لكى نحافظ على شرط ثبوت سرعة الضوء ، وغيرها من ظواهر النسبية التى ذكرناها سابقاً ، يجب إبدال تحويلات

* من المعلوم أن المكان يمكن تحديده بمحاور متعددة الأنواع ، منها محاور ديكارت المتعامدة والتى تتمثل فى الطول والعرض والارتفاع (المترجم) .

غاليليو القديمة بالمجموعة الجديدة وهى :

$$\bar{\text{س}} = \frac{\text{س} + \text{ع ن}}{\sqrt{١ - \frac{\text{ع}^{٢}}{\text{أ}^{٢}}}}$$

$$\bar{\text{ن}} = \frac{\text{ن} + \frac{\text{ع}}{\text{أ}^{٢}}\,\text{س}}{\sqrt{١ - \frac{\text{ع}^{٢}}{\text{أ}^{٢}}}} \quad ،$$

ويعرف هذان التعبيران باسم تحويلى لورنتز ، والذى استنتجهما عالم الفيزياء الهولندى هـ . ا . لورنتز ، وذلك عقب نشر نتائج تجارب ميكلسون ومورلى مباشرة، إلا أن كاتب البحث وغيره من الفيزيائيين المعاصرين اعتبروها بمثابة الحيل الرياضية المسلية . ولم يظهر قيمة هذه التحويلات سوى أنشتين الذى كان أول من فطن إلى أن تحويلى لورنتز يدلان على حقيقة طبيعية ، كما أنهما يتطلبان تغييراً جوهرياً فى أفكارنا وآرائنا القديمة المتعلقة بالمكان والزمان والحركة .

ونحن نستطيع أن نلاحظ أنه بينما لا تبدو تحويلات غاليليو متجانسة بالنسبة لأحداثيات الزمان والمكان ، فإنه على النقيض من ذلك تتجانس تحويلات لورنتز . فعند حساب الزمن الجديد نَ يجب علينا ضم حد إضافى إلى الزمن ن ، ويتوقف هذا الحد الإضافى على السرعة النسبية ع ، ولذلك فهو يحكى الحد الذى نضيفه إلى الأحداث السينى القديم س لنحصل على الأحداث السينى الجديد سَ . وفى جميع الحالات التى تعترضنا فى حياتنا اليومية ، حيث تكون جميع السرعات التى تصادفنا أصغر بكثير من سرعة الضوء (ع أصغر بكثير من أ) ، تؤول قيمة الحد الثانى الذى فى بسط الكسر الخاص بالتحويل الزمنى إلى الصفر تقريباً ، هذا كما يصبح المعامل الموجود فى المقام فى المعادلتين مساوياً الواحد الصحيح على وجه التقريب ، وبذلك نعود إلى تحويلات غاليليو القديمة . ولكن على العكس من ذلك، عند ما تقارب قيمة السرعة النسبية سرعة الضوء فإنه ينجم عن الحد الإضافى فى تحويل الزمان تصدع فكرة انسيابه المطلق ، فى حين ينجم عن معاملات الجذور التربيعية انكماش فى المسافات وتمدد فى الزمن .

ومن اللازم عند هذه النقطة أن نناقش لبساً يتعلق بالانكماش النسبي فى الطول . فقد لبث هذا اللبس قائماً بين علماء الفيزياء ٥٤ عاماً ، منذ الوقت الذى نشر فيه أنشتين ورقته الأصلية عام ١٩٠٥ إلى حين تعبيد صعابها فى بحث نقدى مقتضب نشره أحد الفيزيائيين من الشبان الأمريكيين المدعو ج . تريل عام ١٩٥٩ فقد كانت الفكرة السائدة عن انكماش الطول بمعامل قدره $\sqrt{١ - \frac{ع^٢}{أ^٢}}$ أنه يمكن بالفعل مشاهدته بالنظر إلى شيء يتحرك إذا ما قاربت سرعته سرعة الضوء . وعلى ذلك فالراكب فى إحدى طائرات (بان أمريكان) Pan-American يرى طائرة من طائرات ت . و . ا . T.W.A. . وهى تمر أمامه فى الاتجاه المضاد (مخالفة جميع نظم الف . أ . أ .)* . وقد تقلصت أو انكمشت من حجرة القيادة إلى زعانف الذيل، على حين يشاهد أى راكب فى ال ت . و . أ . نفس الشيء يحدث لطائرة (بان أمريكان) ولكن تريل بيّن خطأ هذا القول ، وذهب إلى أنه من وجهة النظر الخاصة بعمليات الرصد بالنظر إلى جسم سريع الحركة ، نجد أن مثل هذا الجسم لا يبدو أقصر مما هو عليه فى حالة السكون ، وعلة ذلك أنه نظراً لأن سرعة الضوء محدودة ، فإننا فى أثناء مرور الطائرة نرى الضوء المقبل من أنفها وذيلها متأخراً بأزمنة متباينة ، ويعمل هذا الفرق الزمنى على محو أثر التقلص فى الطول الناجم عن النسبية . أما إذا كان الضوء ينتشر بسرعة لانهائية فإن مثل هذا الخطأ فى الرصد لا يحدث ، ولكن بطبيعة الحال ينجم عن كون أن أ = ما لانهاية (∞) أن يصبح التقلص فى الطول الناجم عن النسبية مساوياً للصفر مهما كانت قيمة السرعة النسبية للجهازين المتحركين .

وكما يقول تريل ، بينما لا يمكن لأى راصد أن يشاهد التقلص فى الطول الناجم عن النسبية ، نجد أن هذا التقلص يمكن تصويره ، بشرط أن يكون قطر العدسة أكبر من طول الجسم المتحرك . ونحن فى استطاعتنا أن نتصور طائرة خاصة بالتقاط الصور معدة بآلة تصوير تغطى عدستها المسافة الممتدة من أنفها إلى ذيلها . ومن اللازم أن تكون هذه العدسة على هيئة أسطوانة طويلة ، ولها حاجز

---

* لتنظيم الطيران (المترجم) .

يحجب الضوء فى وقت واحد ، أى إن هذا الحاجز تغلق مقدمته فى نفس اللحظة التى تغلق فيها مؤخرته (فى الوقت الذى يطبق فيه نظام ضبط الزمن فى الطائرة) . وعند ما تمر مثل هذه الطائرة بشىء غير واضح المعالم يتحرك بسرعة فى الاتجاه المضاد، ثم تلتقط صورة لهذا الشىء ، فإن تلك الصورة تبين جميع الصفات الخاصة بالتقلص فى الطول الناجم عن النسبية . وتمر الطائرة دون أن تقول شيئاً ، وإذا أتيحت لهذا الشىء غير الواضح المعالم فرصة التقاط صورة لطائرة التصوير ، أرسلت إلى الطيار إشارة على أمواج الأثير تقول : « أنتم أقل طولا كذلك ! » .

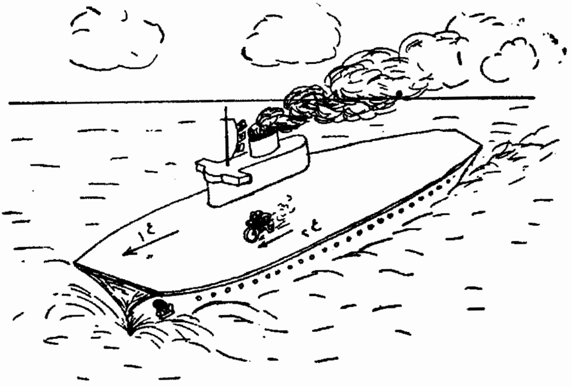
ولا يسمح المجال فى هذا الكتاب بأن نعمد إلى الكشف عن النتائج الرياضية لتحويلات لورنتز ، ولكننا سوف نقتصر على الإشارة إلى أهم النتائج التى أدت إليها وأعظمها أثراً . وتختص إحدى تلك النتائج الهامة بموضوع إضافة أى سرعتين . فلنفرض مثلا أن سفينة من حاملات الطائرات تنطلق عبر المحيط بسرعة تساوى ٣٥ عقدة ، أى نحو ٤٥ من الأميال فى الساعة ، بينما يركب رجل دراجة آلية (موتوسيكل) ليعبر ظهرها من المؤخرة إلى نهايتها من الأمام بسرعة ٦٠ ميلاً فى فى الساعة — شكل (٦ —٨) — فماهى سرعة (الموتوسيكل) بالنسبة للماء ؟ الجواب حسب الميكانيكا القديمة هو بكل بساطة : ٤٠ + ٦٠ ، أو ١٠٠ ميل فى الساعة ، إلا أن هذه القاعدة البسيطة التى نضيف تبعاً لها السرعتين بعضهما إلى بعض لا يمكن على أية حال أن تظل صحيحة فى ميكانيكا النسبية . وفى الواقع إذا ما افترضنا أن سرعة كل من أعلى السفينة المسطح (والموتوسيكل) هى مثلا ٧٥ ٪ من سرعة الضوء (وهو أمر جائز من حيث المبدأ على الأقل) ، فإن سرعة (الموتوسيكل) بالنسبة للماء يلزم أن تزيد ٥٠ ٪ على سرعة الضوء . والقاعدة النسبية لإضافة سرعتين $ع_١$ ، $ع_٢$ هى :

$$\bar{ع} = \frac{ع_١ + ع_٢}{١ + \frac{ع_١ ع_٢}{أ^٢}} ،$$

حيث $\bar{ع}$ هى السرعة الناجمة عن الإضافة . ومن السهولة أن نتبين أن كلا من $ع_١$ ، $ع_٢$ أصغر من أ . وفى الحقيقة نجد أننا حتى عند ما نضع $ع_١$ = أ ،

فإننا نحصل على :

$$\text{ع}' = \frac{\text{أ} + \text{ع}_{٢}}{١ + \frac{\text{أ ع}_{٢}}{\text{أ}^{٢}}} = \frac{\text{أ} + \text{ع}_{٢}}{١ + \frac{\text{ع}_{٢}}{\text{أ}}}$$



شكل (٦ – ٨)

إضافة سرعتين حسب النسبية

$$= \frac{\text{أ}\,(\text{أ} + \text{ع}_{٢})}{\text{أ} + \text{ع}_{٢}} = \text{أ} \text{ ،}$$

مما يدل على أن أية سرعة نضيفها إلى سرعة الضوء لا تسبب بحال من الأحوال أى زيادة فى سرعة الضوء . وعند ما نضع $\text{ع}_{١}$ = أ ثم $\text{ع}_{٢}$ = أ نحصل مرة أخرى على :

$$\text{ع}' = \frac{\text{أ} + \text{أ}}{١ + \frac{\text{أ} \times \text{أ}}{\text{أ}^{٢}}} = \frac{٢\,\text{أ}}{١ + ١} = \text{أ}$$

وتفسر لنا قاعدة النسبية لإضافة السرعات تجربة فيزو التى سبق لنا أن شرحناها ، والتى أجريت قبل ذلك بما يقرب من نصف قرن كامل . فعندما نعوض عن $\text{ع}_{١}$ بقيمة سرعة الضوء فى الماء أى $\frac{\text{أ}}{\text{ن}}$ ، ثم نضع الرمز ع بدلا من $\text{ع}_{٢}$

للدلالة على سرعة الماء فى الأنبوبة نحصل على :

$$\text{ع}' = \frac{\frac{\text{أ}}{\text{ن}} + \text{ع}}{\text{١} + \frac{\text{ع أ}}{\text{ن أ}^{\text{٢}}}} = \frac{\frac{\text{أ}}{\text{ن}} + \text{ع}}{\text{١} + \frac{\text{ع}}{\text{ن أ}}}$$

ويضرب كل من البسط والمقام فى $(\text{١} - \frac{\text{ع}}{\text{ن أ}})$ ينتج أن :

$$\text{ع}' = \frac{(\frac{\text{أ}}{\text{ن}} + \text{ع}) (\text{١} - \frac{\text{ع}}{\text{ن أ}})}{\text{١} - \frac{\text{ع}^{\text{٢}}}{\text{ن}^{\text{٢}}\text{أ}^{\text{٢}}}}$$

$$= \frac{\frac{\text{أ}}{\text{ن}} + \text{ع} - \frac{\text{ع}}{\text{ن}^{\text{٢}}} - \frac{\text{ع}^{\text{٢}}}{\text{ن أ}^{\text{٢}}}}{\text{١} - \frac{\text{ع}^{\text{٢}}}{\text{ن}^{\text{٢}}\text{أ}^{\text{٢}}}}$$

ولما كانت ع أصغر بكثير من أ، فإن قيمة $\frac{\text{ع}}{\text{أ}}$ تكون صغيرة جداً، ولذلك تكون $[\frac{\text{ع}}{\text{أ}}]^{\text{٢}}$ أصغر بكثير . وعند ما نهمل الحدود التى تشتمل على $\frac{\text{ع}^{\text{٢}}}{\text{أ}^{\text{٢}}}$ فى القانون السابق نحصل على :

$$\text{ع}' = \frac{\text{أ}}{\text{ن}} + \text{ع} - \frac{\text{ع}}{\text{ن}^{\text{٢}}} = \frac{\text{أ}}{\text{ن}} + \text{ع} (\text{١} - \frac{\text{١}}{\text{ن}^{\text{٢}}}) \text{ ،}$$

وهو عين القانون التجريبى الذى حصل عليه فيزو . وعلى ذلك فلا وجود لما أسميناه (سحب الأثير) بوساطة سيال مادى متحرك ، والسرعة التى تنجم عن حركة أى سائل هى مجرد الجمع بالنسبية لسرعة الضوء فى السائل وسرعة سريان السائل فى الأنبوبة .

ومن ضمن النتائج الأخرى الهامة التى تمخضت عنها ميكانيكا النسبية عدم ثبوت كتلة أى جسم متحرك ، ذلك الثبوت الذى تفترضه ميكانيكا نيوتن ، ولكن الكتلة تزداد بازدياد السرعة . والعامل الذى يؤثر على كتل الأجسام المتحركة هو نفس العامل الذى يؤثر فى انكماش الطول وتمدد الزمن . وقيمة كتلة جسم يتحرك بالسرعة ع تعطيها المعادلة :

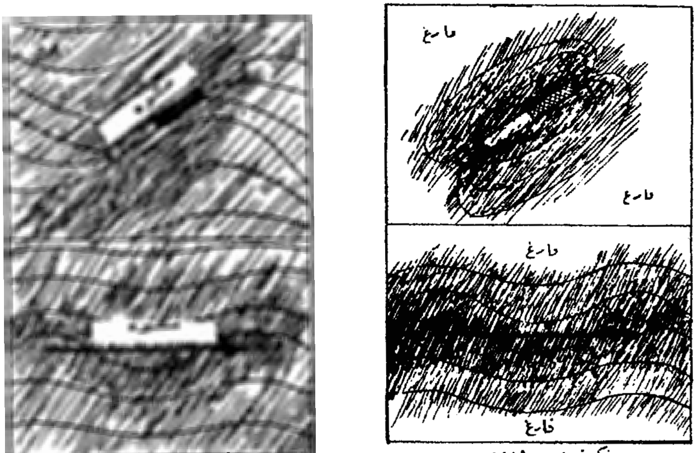
$$ك = \frac{ك_{.}}{\sqrt{1 - \frac{ع^{2}}{أ^{2}}}}$$

حيث ك . هى ما يطلق عليه اسم « كتلة السكون » أو فى معنى آخر مقاومة الخمول (أو القصور الذاتى) التى تقف حائلا فى سبيل كل قوة تعمل على تحريك الجسم وهو فى حالة السكون ، وعند ما تزداد سرعة الجسم ، وتقترب من حدود سرعة الضوء ، تتزايد على التدريج المقاومة التى تحول دون زيادة السرعة ، حتى إذا ما صارت ع = ا ، أصبحت المقاومة ضد أية زيادة فى السرعة متناهية فى الكبر . وتعرض علينا هذه الحالة صورة أخرى من صور الصياغة الأساسية لنظرية النسبية ، وهى أنه لا يمكن لأى جسم مادى التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء . وفى الواقع ينجم عن تضخم مقاومة الخمول أو القصور أن تصبح قيمة الطاقة ، اللازمة للزيادة من سرعة أى جسم مادى لكى ينطلق بسرعة الضوء ، قيمة لانهائية ، أى لا حدود لها .

تساوى الكتلة بالطاقة

وعند ما تخلص أنشتين من فكرة الأثير العالمى وعاد بالفضاء الممتد عبر أجرام السماء إلى سيرته الأولى كفراغ تام ، كان عليه أن يفعل شيئاً ما من أجل الإبقاء على الحقيقة الفيزيائية الممثلة فى موجات الضوء والمجالات الكهرمغناطيسية بوجه عام . فإذا لم يكن هناك أثير ، فما الذى يحيط بالشحنات الكهربية والمغناطيسات وما الذى ينتشر عبر الفراغ التام حاملا إلينا ضوء الشمس والنجوم ؟ لا سبيل إلى

مواجهة هذه الحقائق إلا إذا اعتبرنا المجال الكهرمغناطيسى كنوع من أنواع الوسط المادى حتى لو كان يختلف اختلافاً تامًّا عن الأوساط المادية العادية التى نألفها . وفى علم الفيزياء تستخدم الصفة « مادى » للدلالة على ما (يتثاقل) أو ما له كتلة أو وزن . ومعنى ذلك أنه يلزم أن تحاط الشحنات الكهربية والمغناطيسات بنوع من المادة التى لها ثقل صغير جدًّا ، وهى مهما بلغت من الخفة تكون كثيفة نسبيًّا بجوار تلك الشحنات أو المغناطيسات ، وتقل كثافتها إلى الصفر على البعد الذى تختفى فيه القوى الكهربية والمغناطيسية الناجمة عنها . وكذلك لا مناص من تصوير أشعة الضوء على هيئة مجارٍ متذبذبة ودافقة من هذه المادة ، تنبثق من الأجسام المضيئة (تماماً كما تنبثق مجارى المياه من خراطيم الحديقة) متدفقة عبر فضاء فارغ تماماً . ويوضح الفرق بين وجهتى النظر الجديدة والقديمة بالرسم فى شكل — (٦ — ٩) . فبينما افترض العلماء أولا أن الأثير العالمى إنما يوزع توزيعاً منتظماً ومتجانساً فى الفضاء ، وصوروا لنا المجالات الكهربية والمغناطيسية كمجرد تشويه



فكرة ما قبل أينشتين — فكرة ما بعد أينشتين

شكل (٦ — ٩)

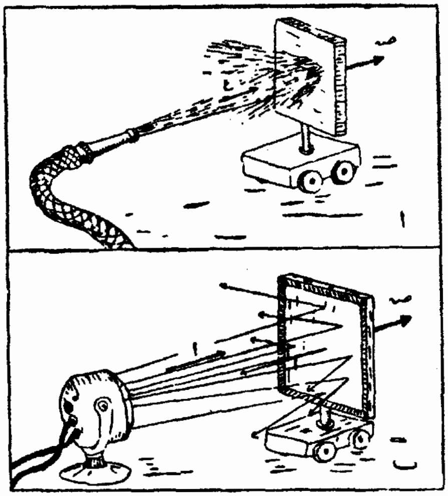
الفكرة القديمة والفكرة الحديثة المتعلقتان بالمجال الكهرمغناطيسى . كان من المعتقد قبل أنشتين أن الأثير الذى ينتشر ليملأ شتى أرجاء الكون يصيبه نوع من التشويه فى مناطق المجال الكهرمغناطيسى . أما الآن فإننا نعتقد أن المجال الكهرمغناطيسى ما هو إلا شىء طبيعى له كيان وله (ثقل) و يوجد تلقائياً فى الفضاء الفارغ الخالى من المادة .

طارئ على هذا التوزيع ، اعتبر وجود المادة « الأثيرية » الجديدة قاصراً على الأماكن التى توجد فيها القوى الكهربية والمغناطيسية ، وهى لا تعتبر حاملة لهذه القوى بقدر ما تعتبر بمثابة القوى نفسها متجسدة . ولا سبيل إلى إظهار الصفات الطبيعية لتلك المادة باستخدام تعبيراتنا القديمة التى على غرار : التماسك ، والمرونة .. وغيرها مما لا تستخدم إلا فى وصف الأجسام المادية المبنية من الذرات والجزيئات ، وإنما باستخدام معادلات مكسويل التى تصف لنا جميع دقائق التفاعلات الكهرمغناطيسية . وتحتاج وجهة النظر الحديثة هذه إلى بعض الوقت والجهد من أجل هضمها ، إلا أنها تحرر العقل البشرى من نير « التركيب المادى » للضوء الذى يحكى دراسة الإنسان من حيث تركيبه .

ولكن على أى أساس نسبغ على هذه المادة « الأثيرية » الجديدة صفة التكتل ونفرض أنها مما يتثاقل ؟ ثم ما هى قيمة الكتلة التى يمكن أن تتضمنها ؟ ولعل أسهل السبل للإجابة على هذا السؤال هو أن ندرس ما يحدث عند ما تسقط حزمة ضوئية على مرآة ثم ترتد؛ فالمعروف منذ زمن طويل فى علم الفيزياء أن الضوء عند ما يرتد من مرآة يؤثر فيها بنوع من الضغط ، وهو رغم عدم بلوغه القدر الكافى لزحزحة مرآة موجودة أمام شمعة مثلا ، ينجح فى دفع جزيئات الغاز من أجسام المذنبات عند ما تقترب هذه من الشمس*. وتكون جزيئات الغاز هذه ذيولا مضيئة بوهج لامع تمتد عبر السماء . وتم أول إثبات لضغط الضوء هذا فى المعمل على يد عالم الفيزياء الروسى ب . ن . لبديف ، حيث أثبت أنه يساوى عددياً ضعف قيمة الطاقة المرتدة مقسومة على سرعة الضوء .

ومن أقرب الأمثلة الميكانيكية التى تعتبر عظيمة الشبه بالضغط الذى تحدثه حزمة ضوئية منعكسة من مرآة ، ذلك الدفع الذى يولده مجرى من الماء ينبثق من خرطوم الحديقة موجهاً نحو لوح يعترض سبيل الماء ـــ شكل (٦ ــ ١٠) ـــ و بحسب قوانين الميكانيكا التقليدية القديمة ، يكون الضغط الناجم عن مجرى من الجزيئات المادية ، الذى يقع على جدار يعترض سبيلها ويعمل على ردها ، مساوياً معدل

* الرأى السائد الآن على أية حال هو أن هذا الدفع يرجع أساسه إلى الغازات والجسيمات الأولية التى تطلقها الشمس بصفة مستمرة من حولها (المترجم) .



شكل (٦ — ١٠)

ارتداد مجرى مائى من لوحة قابلة للحركة (ا) . وانعكاس حزمة ضوئية من مرآة قابلة للحركة(ب) .

التغير فى كمية حركتها — كما سماها نيوتن (انظر الباب الرابع). فإذا كانت ك هى كتلة الماء التى يحملها المجرى فى وحدة الزمن، وكانت ع هى سرعة المجرى ذاته ، فإن التغير فى كمية التحرك يصبح ٢ ك ع ، نظراً لأن كمية التحرك هذه تتغير قيمتها من + ك ع إلى — ك ع ،[وبكل تأكيد + ك ع — (— ك ع) = ك ع + ك ع = ٢ ك ع] .

وعند ما نستخدم نفس المبدأ لحزمة من الضوء تنعكس من مرآة ، يكون من اللازم أن ننسب إليها قدراً من كمية الحركة الميكانيكية مساوياً حاصل ضرب « كتلة الضوء » ك الساقط على المرآة فى وحدة الزمن فى سرعته أ . وعلى ذلك يمكننا أن نعبر عن ضغط الضوء بالمعادلة الآتية :

ض الضوء = ٢ ك أ

وعند ما نقارن هذا التعبير بالعلاقة التى حصلنا عليها عن طريق التجربة ، وهى :

ض = ٢ى / أ التى سبق ذكرها، نخرج بالنتيجة القائلة بأن :

$$\text{ك} = \frac{\text{ى}}{\text{أ}^{٢}}$$

أو $$\text{ى} = \text{ك أ}^{٢}$$

وهذا هو عين قانون أنشتين المشهور المعروف باسم « قانون معادلة الكتلة بالطاقة » الذى يسوى بين طاقة الإشعاع ، تلك التى تعتبرها الفيزياء التقليدية القديمة عديمة الثقل ، والمادة العادية ذات الثقل . ولما كانت $\text{أ}^{٢}$ لها قيمة عددية كبيرة جداً ، ٩×١٠^{٢٠} ، فإن كتلة أى مقدار محدود من طاقة الإشعاع تكون صغيرة جداً إذا ما عبرنا عنها بالوحدات المألوفة . فمثلا (البطارية) التى تبلغ قوة مصباحها ١٠ وات ، عند ما تشع ٦×١٠^{٩} أرج من الضوء فى الدقيقة ، يقل وزنها بمقدار $\frac{٦ \times ١٠^{٩}}{٩ \times ١٠^{٢٠}} = ٧ \times ١٠^{-١٢}$ جرام . ومن ناحية أخرى نجد أن الشمس تفقد فى اليوم الواحد ٤×١٠^{١١} طناً عن طريق إرسال إشعاعاتها فى الفضاء المحيط بها .

وبطبيعة الحال لا مناص من تعميم العلاقة القائمة بين الكتلة والطاقة لجميع أنواع هذه الأخيرة . وعلى هذا الأساس تصبح المجالات التى تحيط بالأجسام الموصلة المشحونة بالكهربية والمغناطيسات حقيقة طبيعية لها تثاقلها ، حتى لو كانت كتلة المجال الذى يحيط بكرة من النحاس قطرها متر ومشحونة إلى جهد قدره ألف ڤولت تزن ٢×١٠^{-٢٢} جراماً ، على حين لا تزيد كتلة مجال مغناطيسى المعمل العادى على $١٠^{-١٥}$ من الجرام .

ويجب أن تكون للطاقة الحرارية كتلة تثاقلية كذلك ، فلتر الماء عند درجة حرارة ١٠٠°م تزيد كتلته بمقدار $١٠^{-٢٠}$ جراماً على نفس هذه الكمية من الماء البارد ، على حين تزن الطاقة الكلية التى تنطلق من قنبلة ذرية من ذوات عشرين ألف طن نحو جرام واحد .

وهنا يجدر بنا أن نعلق ببعض الكلمات على ما تقرره الجرائد ، وما يكتب فى المجلات من مقالات للعامة ، بأن علاقة أنشتين هذه الخاصة بالطاقة والكتلة كانت أساس اختراع القنبلة الذرية ، فنحن عند ما نتوخى الحقيقة نجد أن هذا

الزعم ليس صحيحاً بتاتاً ، وفى مقدور أى شخص أن يقول على نفس المقياس من الصحة إن هذه العلاقة هى كذلك أساس اكتشاف نوبل للنيتروجلسرين * ، أو أساس اختراع الآلة البخارية على يد وات . ففى جميع مثل هذه الحالات التى يحدث فيها تحويل كيموى أو طبيعى يصحب هذا التحويل انطلاق قدر من الطاقة ، وتكون كتلة ما ينجم عن هذه التحويلات من مادة أقل من كتلة ما اشترك أو دخل فيها من الأصل بمقدار كتلة الطاقة المنطلقة . وعلى ذلك فإن الغازات التى تنجم عن النيتروجلسرين تكون أقل فى الوزن من المواد المفرقعة الأصلية . وكذلك تكون كتلة البخار المقبل من الآلة البخارية أقل من كتلة الماء الساخن الموجود فى المرجل . وبالمثل فإن مجموع أوزان الغازات المتصاعدة والرماد المتخلف عن حرق الخشب يقل عن وزن كتلة الخشب الأصلية . ولكن فى جميع هذه الحالات تكون كتلة المادة المنطلقة صغيرة جداً بالنسبة إلى كتلة المادة الأصلية ، بحيث يستحيل قياسها ، حتى لو عمدنا إلى استخدام أعظم الموازين دقة وأكثرها حساسية . وليس فى استطاعة أى عالم فيزيائى أن يلاحظ الفرق الناتج فى وزن كوب من الماء الساخن عند ما يبرد . بل لم يحدث قط أن لاحظ عالم من علماء الكيمياء الفرق بين وزن الماء ووزن غازى الأيدروجين والأكسيجين اللازمين لإنتاج الماء باتحادهما .

وفى حالة التفاعلات النووية ، تكون مقادير الطاقة المنتجة أكبر من ذلك بكثير . ورغم أنه من المحال أن يعمد المرء إلى جمع كل ما ينجم عن انشطارات القنبلة ليبرهن أن وزنها يقل بمقدار جرام واحد عن وزن القلب الأصلى المكون من البلوتونيوم ، يستطيع الإنسان بطريقة حساسة من طرق التجارب المعملية النووية أن يعين بكل دقة كتلة الذرات الداخلة فى التفاعل النووى والذرات الناجمة عن هذا التفاعل . وعلى ذلك لم يكن الدور الذى لعبه أنشتين فى صناعة القنبلة الذرية هو استنتاج العلاقة ى = ك أ ٢ ، ولكن خطاباً لم يكد يبعث به للرئيس روزفلت ، حتى بدئ بتنفيذ مشروع مانهاتان نظراً لما كان لأنشتين من رأى له قيمته ووزنه .

وأى جسم مادى يتحرك بسرعة معينة يحمل بين طياته طاقة الحركة ، وتفسر لنا

* الذى يستخدم فى المفرقعات الذرية (المترجم) .

الزيادة الطارئة على الكتلة بسبب إضافة كتلة هذه الطاقة إليها ما يعرف فى النسبية باسم ازدياد الكتلة . ويستخدم قانون أنشتين الخاص بمعادلة الكتلة بالطاقة كذلك فى تحويل الجسيمات الأولية. فلكى تخلق زوجاً من كهرب وكهرب مضاد (أوبروتون وآخر مضاد) فإنه يلزم إمدادهما بقدر من الطاقة يعادل كتلتيهما معاً . وينطلق نفس هذا القدر من الطاقة كإشعاع عالى الذبذبات عند ما يفنى الجسيم الأول منهما الجسيم الآخر .

عالم الأبعاد الأربعة

من الوجهة الرياضية يعادل انكماش المكان فى النسبية تقلص فتزجيرالد للأجسام المتحركة . ولكن بينما تصور فتزجيرالد هذا التقلص كظاهرة طبيعية حقيقية تنجم عن حركة الأجسام المعادية خلال الأثير ، تعتبر النظرية النسبية هذا التقلص كانكماش ظاهرى للمسافات عند ما ترصد من جهاز متحرك . ويتشابه كل من انكماش المكان وتمدد الزمان بالنسبة لأى جهازين فى حركة نسبية . وفى جميع الحالات التى تقصر فيها أبعاد المكان نجد أن الزمان يطول ، ويحكى هذا الوضع إلى حد ما المسقطين الرأسى والأفقى لعصا لها طول معين ل . فإذا ما أخذت العصا وضعاً رأسياً ، يكون مسقطها الرأسى صفراً ومسقطها الأفقى ل ، أما إذا وضعت أفقياً فإن مسقطها الرأسى يصبح ل ، كما يصير طول مسقطها الأفقى صفراً . وعند ما تثبت العصا بحيث تميل بزاوية قدرها م مثلا نجد أن المسقطين الأفقى والرأسى تختلف قيمة كل منهما عن الصفر .

ومهما كانت قيمة الزاوية م فإنه تبعاً لنظرية فيثاغورث يكون :

$$\triangle \text{س}^{2} + \triangle \text{ص}^{2} = \text{ل}^{2}$$

ولقد ألهم هذا التشابه عالم الرياضة الألمانى ه . منكوسكى (الذى سايرت بحوثه عن كثب نتائج الأوراق الأولى التى نشرها أنشتين) إلى اعتبار الزمن بطريقة ما البعد الرابع المكمل لأبعاد المكان * الثلاثة ، وأن حركة أى جهاز بالنسبة إلى جهاز آخر يمكن أن ينظر إليها كدوران لهذه المحاور الأربعة المتعامدة .

---

* هى الطول (المحور السينى) ، والعرض (المحور الصادى) ، ثم الارتفاع (المحور العينى) . (المترجم) .

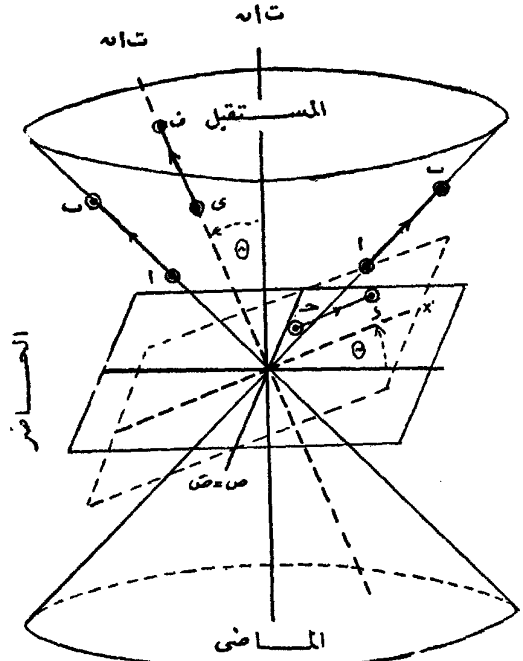
ونحن فى حياتنا اليومية نصف الحادثات المختلفة بالإشارة إلى زمانها ومكانها . فنقول مثلا إن الاجتماع سوف يكون فى الطابق الخامس عشر من منطقة « سيكث أفينو Sixth Avenue » فى الشارع الثانى والثلاثين فى تمام الساعة الثامنة مساء . وفى العادة نعمد إلى عمل أشكال بيانية ، نرسم فيها المكان مع الزمان ، إلا أن مثل هذه الأشكال التى لا تختلف فى شىء عن تلك التى تبين مثلا التغير فى أسعار سوق الجملة من شهر إلى آخر ، لا تزيد عن كونها عرضاً باستخدام المنحنيات البيانية لبيان الاعتماد القائم بين مقدارين فيهما ترابط ، ولا يمكن اعتبارها بأية وسيلة خاضعة لأى نوع من قواعد الهندسة القياسية ، أو عملية من عملياتها . وإذا كنا سنعتبر الزمان كبعد رابع حتمى ، فمن الواجب قبل كل شىء أن نقيسه بنفس الوحدات التى نقيس بها أبعاد المكان الثلاثة . ويمكن إنجاز ذلك بضرب الزمن ، المقدر فى الأصل بالثوانى ، بنوع السرعة القياسية ، بحيث ينجم عن حاصل الضرب هذا مسافة مقيسة بالسنتيمتر ، أى بنفس الوحدة المستخدمة فى قياس أبعاد المكان الثلاثة . ومن العبث أن نتخير لهذا الغرض وحدة عادية ، التى على غرار نهاية السرعة المسموح بها فى الطرق الحالية مثلا (فهذه تتوقف على القوانين المحلية) ، ومن العبث كذلك تخير سرعة الصوت (لاعتمادها على مادة الوسط ودرجة الحرارة) . ومن الجلى والواضح أنه ليس هناك أفضل من تخير سرعة الضوء فى الفراغ ، التى يبدو أن لها صلة بقوانين الطبيعة الأساسية ، كما برهن ميكلسون ومورلى على ثبوتها وعدم تغيرها . وعلى ذلك عند ما نرمز للأحداثيات الثلاثة الأولى (المكان) بالرموز س ، ص ، ع ، ونستخدم الرمز ت ا ن للبعد الرابع (الزمن) ، إلا أن هذا العمل هو بمثابة أول خطوة نخطوها فى هذا الصدد . ففى حالة إحداثيات المكان س ، ص ، ع نجد أنه يمكن تبادلها فيما بينها دون قيد أو شرط ، كان يصير طول صندوق من الخشب مثلا هو ارتفاعه إذا ما قلبناه على جانبه . ومن الواضح أن مثل هذا التبادل الكامل لا يوجد فى حالة محاور المكان والزمان ، وإلا لأمكن تحويل الساعة إلى عصا والعكس بالعكس! وعلى ذلك فلو أردنا اعتبار الزمن بمثابة الأحداثى الرابع ، ينبغى ألا يقتصر عملنا على ضربه بالسرعة ا ، ولكن بمعامل آخر من شأنه أن يجعل من الأحداثى الزمنى شيئاً يخالف

فى طبيعته أحداثيات المكان الثلاثة ، دون أن يضيع التوافق فى جهاز الأحداثيات الأربعة ، وتمدنا الرياضة بمثل هذا المعامل تماماً ، وهو المعروف باسم « الوحدة التخيلية » التى يرمز لها عادة بالرمز ت ، وهى تساوى الجذر التربيعى لناقص واحد .

$$ت = \sqrt{-١}$$

وتبعاً لقواعد الجبر الأولية يكون $(+١)^٢ = +١$ ، وكذلك $(-١)^٢ = +١$، ولا يبقى للعدد ت أى مكان بين الأعداد العادية الموجبة أو السالبة ، ولهذا يسمى بالوحدة الخيالية . وليس لهذه الوحدة أية فائدة فى أعمال العد العادية ، على حين نجد أن « امتلاك ١,٠٠ دولار » يعنى أنه يوجد ضمن حسابك فى البنك دولار واحد ، فإن امتلاك (-١) دولار، يعنى أنك مدين بدولار واحد (فى الأحمر) أما ت دولار فهو لا يعنى شيئاً بتاتاً فى حسابات البنوك .

ولكن علماء الرياضة والفيزياء النظرية استخدموا ت بكل سهولة فى حساباتهم بحيث تختفى ولا تظهر فى النتائج النهائية التى يلزم أن يكون لها معنى طبيعى . فالذى يحدث دائماً أن تتضمن النتائج النهائية مربعات ت ، ولما كانت $ت^٢ = -١$ فهى عدد عادى سالب . وعلى ذلك فلنستخدم « الوحدة التحليلية » بمثابة المعامل الإضافى ، ونكتب الأحداثى الرابع مركباً ليعطى ت ان . ولما كان من المستحيل رسم أربعة محاور متعامدة بعضها على بعض؛ فإننا نتجاهل الأحداثى المكانى الثالث ع ونستعمل بدلا منه أحداثى الزمن الجديد ت ان ، فنحصل على الصورة الممثلة فى شكل - (٦ -١١) ، حيث تم رسم أحداثيي المكان وهما محورا س ، ص ، فى مستوى أفقى (بالنسبة للقارئ) ١ ، أما محور الزمن التخيلى فهو يجرى رأسيا . وتمثل كل نقطة فى هذا الشكل حادثة بذاتها ، أى إنها تمثل شيئاً حدث فى مكان معين وزمن معلوم . والحادثات التى تتم فى وقت واحد ، أو المتحدة فى الزمن (فى مجموعة المحاور المعينة التى رسم من أجلها هذا الشكل) تمثلها النقط الواقعة فى مستويات متعامدة على محور الزمن . أما الحادثات التى تتم فى أوقات مختلفة ولكن فى نفس المكان (فى نفس مجموعة المحاور التى اخترناها سابقاً) ، فإنها تقع على



شكل (٦ — ١١)

وحدة المكان والزمان ، وتشتمل على أحداثيين للمكان (س ، ص) ولأحداثى الزمن . ت ا ن . وتمثل الأسطح المخروطية انتشار الضوء (س٢ + ص٢ — ا٢ ن٢ = صفر) ، وهى تقسم الوحدة إلى « الحاضر » و « الماضى » و « المستقبل » .

خطوط مستقيمة توازى محور الزمن ، والسطح المخروطى الذى تبلغ فتحته ٩٠ درجة ، ويعرف باسم « مخروط الضوء » إنما ينتمى إلى حوادث يمكن وصلها بإشارة ضوئية . فمثلا إذا كانت نقطة الحادثة أ تمثل بريقاً انبثقت عنه موجة ضوئية ، فإن النقطة ب تمثل إضاءة جسم موجود فى مكان ما فى الفضاء بذلك الضوء المنبثق من أ .

وكما قدمنا سابقاً يمكن أن تمثل أرصاد فترات الزمان والمكان تمثيلا هندسياً على هيئة دوران يحدث فى جهاز محاور الأبعاد الأربعة ، بحيث يدور محور الزمن بزاوية معلومة (الخطوط المتقطعة ، والحروف التى عليها شرط فى شكل — ٦ — ١١) . ولكن نظراً لأنه تحت أى ظرف من الظروف لا يمكن أن تزيد سرعة الحركة على سرعة الضوء أ ، فإن الزاوية θ التى يلف بها محور الزمن ت أن لا يمكن أن تتجاوز ٩٠ درجة ، وعلى ذلك يكون فى مستطاعنا التمييز بين نوعين مختلفين من أزواج الحوادث .

١ — حوادث على غرارى ، ف ، و ، هى التى تكون معها الزاوية المحصورة بين

المستقيم ى ف الواصل بينهما ومحور الزمن أصغر من ٩٠ درجة . فى هذه الحالة نستطيع أن نجد مجموعة من المحاور تتحرك بالنسبة إلى المجموعة الأصلية بسرعة تبلغ القدر الذى معه تكون الحادثتان على محور الزمن الجديد ، ت ان ، بينما تصبح المسافة المكانية لهما صفراً . ويعتبر هذا النوع من دوران محاور الزمان والمكان نوعاً تافهاً ، ونحن جميعاً نتعرض له فى حياتنا اليومية العادية . أما إذا شئنا مثلا أن نشاهد مباراة فى كرة القدم يوم الاثنين فى إحدى المدن ، ثم يوم الثلاثاء فى مدينة أخرى على بعد مئتى ميل منها ، فليس علينا إلا الرحيل فى نهاية المباراة الأولى لنكون فى المدينة الثانية قبل بدء المباراة فيها . ورغم أن وضع كل ملعب منهما يختلف عن الآخر بالنسبة إلى خط الاستواء وخط طول جرينتش ، فإن كلتا المحطتين تكونان على وجه التقريب فى نفس المكان بالنسبة لمجموعة المحاور الملازمة للسيارة . ويسمى الفاصل المكانى الزمانى الذى يفصل بين الحادثتين الرياضيتين السابق وصفهما باسم فاصل (شبيه الزمن) ، وذلك نظراً لأنه عن طريق الحركة بسرعة مناسبة يمكننا أن نقلل المسافة المكانية الفاصلة بينهما إلى الصفر ، ثم نشاهدهما من نفس المكان (مقعد السيارة) فى زمنين مختلفين (بينهما يوم كامل) .

٢ — حادثات على غرار جـ ، د ، تكونان معها الزاوية المحصورة بين الخط جـ د ومحور الزمن أكبر من ٩٠ درجة . وهنا لا نستطيع الانتقال من أول عرض إلى العرض الثانى ما لم نتحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وعلى ذلك فمثلا لما كان الضوء يستغرق زهاء خمس ساعات وعشرين دقيقة ليقطع المسافة من عطارد إلى بلوتو ، نجد أنه ليس من المحتمل أن نتناول الغداء فى الساعة الواحدة على عطارد ثم نتمكن من حضور حفلة كوكتيل على بلوتو فى تمام الساعة الخامسة من مساء نفس اليوم . ومن ناحية أخرى تجدنا نستطيع دائماً أن نتخير سرعة سفر مناسبة نقلل بها فرق الزمن بين الحادثتين إلى الصفر وبذلك نجعلهما يتمان فى وقت واحد فى مجموعة محاور المكان والزمان التى نتخيرها . ويسمى الفاصل الزمانى المكانى بين مثل هذا الزوج من الحوادث باسم (شبيه المكان) ، وذلك نظراً لأنه عند التحرك بطريقة ملائمة نستطيع أن نقلل فرق الزمن إلى الصفر .

ولعلنا الآن فى وضع يسمح لنا بصياغة تعريف جديد لفكرتنا القديمة عن « الماضى والحاضر والمستقبل » . فإذا ما افترضنا أننا فى ابتداء الأحداثيات المبينة

فى شكل (٦ — ١١) ، وتبين مثلا أننى : « أنا هنا (س = صفر ، ص = صفر ، ع = صفر)، الآن (ن = صفر)» ، فإن جميع الحوادث الواقعة فى الجزء العلوى من المخروط (ن موجبة) تكون هى المستقبل ، وذلك نظراً لأنه بصرف النظر عن الطريقة التى نتحرك بها ، سوف يمضى بعض الوقت قبل أن نبصر بها . ونحن فى مقدورنا التأثير على حوادث المستقبل هذه بالتصرف بطريقة ما ، إلا أننا لا يمكن أن نتأثر بها ، وكذلك تكون جميع الحوادث الواقعة فى الجزء السفلى من المخروط (ن سالبة) هى الماضى وذلك نظراً لأنه مهما بلغت السرعة التى نتحرك بها لا سبيل لنا إلى رؤيتها . فمثلا من الجائز أن ننطلق إلى الفضاء بسرعة فائقة تمكننا من اللحاق بأمواج الضوء التى انبثقت عن انفجار أول قنبلة ذرية أو عن حريق روما . ويمكن أن تؤثر فينا هذه الحوادث الماضية ، إلا أنه لا سبيل لنا إلى التأثير فيها ! وبين الجزئين العلوى والسفلى من مخروط الضوء توجد منطقة « المشاع » ، وهى التى تتضمن الحوادث التى إما أن تكون قد حدثت فى وقت واحد من وجهة نظرنا نحن ، أو التى يمكن أن توجد أزمنتها ، بحيث تبدو كأنها تمت فى وقت واحد ، إذا ما عمدنا إلى رصدها من مجموعة من المحاور الأصلية تتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء . ويرجع السر فى أن « الحاضر » فى شكل (٦ — ١١) يشغل مثل هذا المكان الكبير بطبيعة الحال إلى قرارنا باستخدام ا ن بدلا من ن فقط فى حساب فترات الزمن . وإذا ما رسمنا ن بدلا من ان ، فإن المقياس الرأسى سوف ينكمش بما يعادل ٣ × ١٠^١٠ من قيمته ، وعند ذلك يتسع الجزء العلوى والسفلى من مخروط الضوء بانكماش الحيز الذى بينهما إلى قرب الصفر . وهذا عين مانشاهده فى حياتنا اليومية العادية حيث تتضاءل قيم السرعة بالنسبة إلى سرعة الضوء .

وعند ما نعاود الحديث عن المكان ذى الأبعاد الثلاثة ، بإدخال المحور ع ، نستطيع عمل حيلة رياضية لكى تضمن « الوحدة التخيلية » فى التعبير عن الأحداثى الرابع . لنفرض مثلا أننا أرسلنا إشارة ضوئية من ابتداء الأحداثيات س = صفر ، ص = صفر ، ع = صفر فى الزمن ن = صفر . فعندما يكون الزمن هو ن ، تصل الإشارة الضوئية وضعاً أحداثياته المكانية هى س ، ص ، ع ، ويكون بعد هذا الوضع عن نقطة الأصل بحسب نظرية فيثاغورث :

$$\sqrt{س^٢ + ص^٢ + ع^٢}$$

ولما كان انتشار الضوء يتم دائماً بنفس السرعة أ ، فإن هذه المسافة يجب أن تساوى كذلك أ ن ، وعلى ذلك فإن :

$$\sqrt{س^٢ + ص^٢ + ع^٢} = أ ن$$

أو $$س^٢ + ص^٢ + ع^٢ = (أ ن)^٢$$

أو $$س^٢ + ص^٢ + ع^٢ - (أ ن)^٢ = صفر$$

ولكن لما كان $-١ = ت^٢$ ، فإننا نستطيع كتابة المقدار السابق بالصورة :

$$س^٢ + ص^٢ + ع^٢ + (ت أ ن)^٢ = صفر$$

ويمثل الجانب الأيمن من هذه المعادلة الجمع بطريقة فيثاغو ث بين مربعات الأبعاد الأ بعة . وفى أى جهاز آخر من المحاو التى تتحرك بالنسبة للمحاور الأصلية نجد أن :

$$س^٢ + ص^٢ + ع^٢ + (ت أ ن)^٢ = صفر$$

بمعنى أن حاصل جمع المربعات الأربعة لا يتغير بسبب دوران مجموعة محاور الأبعاد الأربعة . ويمكن للمرء أن يبرهن باستخدام تحويلات لورنتز أن نفس هذه النتيجة تظل صحيحة وقائمة بالنسبة للفاصل المكانى والزمانى الذى يفصل بين أى نقطتين فى حيز (س ، ص ، ع ، ت أن) الذى يمثل حادثتين . وعلى ذلك فإن المقدار :

$$س^٢ + ص^٢ + ع^٢ + (ت أ ن)^٢$$

لا يتغير (أى لا تتبدل قيمته) بصرف النظر عن جهاز المحاور الذى نشاهد منه أى حادثتين . ورغم أن كلا من الفاصل المكانى الثلاثى الأبعاد الذى يفصل بينهما ، والفاصل الزمنى الأحادى البعد ، سوف يتغير ، فإن فاصل المكان الزمانى الرباعى الأبعاد والذى تعطيه المعادلة السابقة يظل دائماً على حاله ولا يتغير . وهكذا نرى أننا باستعمال ت أن كأحداثى رابع نحقق وجود اتحاد بين المكان والزمان بطريقة رياضية ، ونحن الآن لا يمكننا اعتبار جميع الحوادث الطبيعية كأنها تتم فى عالم من المكان الزمانى الرباعى الأبعاد . ومهما يكن من شىء فمن الواجب

ألا ننسى أن هذا لا يمكن أن يتم إلا باستخدام «وحدة خيالية» ، تعتبر بمثابة المعين الذى لا يقدر بثمن ، وأنه عند ما نلقى بأوراقنا ونتلمس القيم الحقيقية ، لا يظل الزمان والمكان هما نفس الشيء .

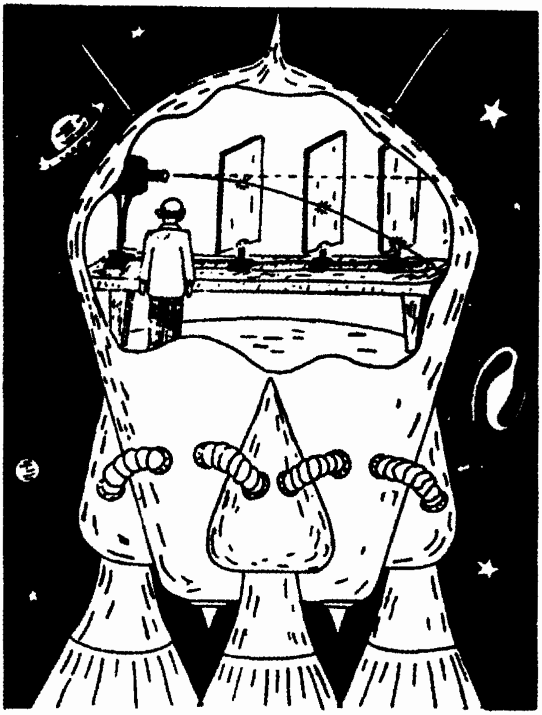
نظرية الجاذبية فى النسبية

وكما بينا فيما سبق يمكن أن تعتبر نظرية النسبية لأنشتين بمثابة الثمرة اليانعة لآراء غاليليو وتعليقاته المتعلقة بالتجارب الميكانيكية التى أجريت داخل إحدى الغرف لسفينة تنساب فوق سطح البحر فى هدوء تام . وتنبت جذور تعميم هذه النظرية لتشمل حالة الحركة غير المنتظمة ، وهى التى يطلق عليها عادة اسم النظرية العامة للنسبية، ولكن الأفضل أن تسمى نظرية الجاذبية فى النسبية ، ويبدأ ظهورها كذلك فى تجربة غاليليو عند ما ألقى من برج بيزا جسمين أحدهما ثقيل والآخر خفيف . ولقد ظلت الحقيقة المشاهدة المتعلقة بسقوط كل الأجسام الثقيلة والخفيفة بنفس العجلة سراً غامضاً تماماً ، وظلت هكذا عبر العصور إلى حين ظهور نبذة كتبها أنشتين خاصة بالعلاقة بين العجلة والحركة وقوى الجاذبية ، ونشرها عام ١٩١٤ .

ويصف أنشتين فى تلك النبذة تجارب خيالية يمكن عملها داخل غرفة مغلقة تطفو من غير قيد فى أعماق الفضاء الكونى . فنظراً لعدم وجود الجاذبية لا تميل الأجسام التى فى داخلها للإزاحة فى اتجاه معين ، أما إذا اكتسبت الغرفة عجلة حركة ، تحت تأثير زوج من المحركات الصاروخية متصلة بقاعدتها مثلا ، فإن الوضع داخلها يصبح مختلفاً تماماً ، إذ أن جميع الأجسام سوف تنضغط إلى قاعدة الغرفة ، كأنما توجد قوى جاذبية تعمل على جذبها إلى أسفل . والآن لنبحث حالة رجل يقف على أرض معمل فى الفضاء عند ما يتحرك بعجلة منتظمة ج ، ويمسك فى يديه بكرتين إحداهما خفيفة والأخرى ثقيلة : بطبيعة الحال ، نظراً لتحرك المجموعة كلها بعجلة سوف تضغط قدما الرجل بشكل محسوس على أرض الغرفة ، كما تضغط الكرتان على راحتى الرجل . ولكن ما الذى يحدث الآن بعد أن يسقط الرجل الكرتين معاً من يديه فى لحظة واحدة ؟ نظراً لانفصالهما عن جسم السفينة ،

تستمر أى كرة منهما فى التحرك بالسرعة التى اكتسبتها لحظة إسقاطها ، وعلى ذلك سوف تظل إلى جانب الكرة الأخرى . ومن ناحية أخرى نجد أنه نظراً لأن حركة السفينة لها عجلة فإنها سوف تتزايد سرعتها باستمرار ، وعلى ذلك فسرعان ما تدرك قاعدتها الكرتين وترتطم بهما معاً فى نفس الوقت ، ومن ثم تظل الكرتان على أرض الغرفة وتضغطانها نظراً لتحركهما بعجلة مع باقى المجموعة . ومهما يكن من شىء فإن الراصد الموجود فى داخل الغرفة سوف يشاهد الكرتين اللتين أفلتهما من يديه تتساقطان بعجلتين متساويتين ، وبذلك ترتطمان مع القاعدة فى نفس اللحظة . وهذا هو التعادل أو الانطباق القائم بين الجاذبية والعجلة ، وهو لا يعدو كونه من المعلومات العامة فى « عصر الفضاء » الذى نعيش فيه .

ولكن هل هذا التشابه الذى سقناه خاصًّا بالظواهر الميكانيكية التى تحدث داخل سفينة صاروخية تتحرك بعجلة ، ومجال الجاذبية الذى تحدثه كتلة الأرض العظيمة ، هو مجرد تشابه بالصدفة ، أو أن له علاقة أعمق تتصل بطبيعة قوى الجاذبية؟ كان أنشتين يشعر شعوراً صادقاً بصحة الاحتمال الثانى ، وراح يسائل نفسه عن الطريقة التى يتصرف بها الشعاع الضوئى فى مثل تلك الحالة داخل الغرفة المتحركة بعجلة . فلنتصور أن مصدراً ضوئيا يتصل بجدار الغرفة ويرسل عبرها حزمة من الضوء . ولكى يمكن مشاهدة مسار الحزمة نضع على أبعاد متساوية على طول هذا المسار عدداً من الألواح المصنوعة من الزجاج المنير — شكل (٦ — ١٢) . فإذا لم تكن الغرفة تتحرك بعجلة فإن النقط التى تخترق فيها حزمة الضوء ألواح الزجاج تقع بطبيعة الحال على خط مستقيم ، ويتعذر تماماً الجزم بأن الصاروخ فى حالة السكون أو أنه يتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة للنجوم الثوابت مثلا . ولكن على أية حال يختلف الوضع عند ما تتحرك الغرفة بعجلة منتظمة ح . فالوقت الذى يستغرقه الضوء للوصول إلى لوح الزجاج الأول والثانى والثالث . . . . إلخ ، إنما يتزايد تبعاً للمتوالية الحسابية ١ ، ٢ ، ٣ ، . . . . إلخ ، بينما تزداد إزاحة الصاروخ المتحرك بعجلة منتظمة تبعاً للمتوالية الهندسية ١ ، ٤ ، ٩ ، . . . . إلخ ، وعلى ذلك فإن آثار حزمة الضوء على ألواح الزجاج المنير تكون فى مجموعها قطعاً مكافئاً على غرار المسار الذى تسلكه قطعة من الحجر عند ما تقذف أفقيًّا . وهذا يعنى أنه إذا ما



شكل (٦ — ١٢)

تجربة ضوئية فى سفينة صاروخية تتحرك بعجلة ، وهى توحى بوجوب انحراف أشعة الضوء تحت تأثير مجال الجاذبية .

امتدت معادلة العجلة بالجاذبية إلى الظواهر الكهرمغناطيسية فإن أشعة الضوء ينبغى لها أن تنثنى تحت تأثير مجال الجاذبية . ومهما يكن من شىء فإنه نظراً لسرعة الضوء العالية فإن الانحناء فى مجال جذب الأرض يبلغ من الصغر الدرجة التى يتعذر معها رصده . وفى الحقيقة عند ما ترسل حزمة من الضوء فى الاتجاه الأفقى لتتساقط على ستارة على بعد ٣٠ متراً مثلا فإنها تستغرق من الزمن $\frac{٣ \times ١٠^{٣}}{٣ \times ١٠^{١٠}} = ١٠^{-٧}$ من الثانية.

ولما كانت عجلة الجاذبية على سطح الأرض تعادل نحو $١٠^{٣}$ سنتيمتراً لكل ثانية فى الثانية ، فمن المتوقع أن تكون الإزاحة الرأسية لحزمة الضوء على الستارة خلال هذه المدة تساوى :

$$\frac{1}{2} \times 10^{3} \times (10^{-7})^{2}$$
$$= 5 \times 10^{-12} \text{ سنتيمترا ،}$$

وهى مسافة تقارن فقط بقطر نواة الذرة !

وعلى أية حال فقد توقع أنشتين ضرورة انحناء أشعة الضوء عند ما تمر قريباً من سطح الشمس . وفيما يلى تقدير تقريبى للزحزحة المتوقعة فى مثل هذه الحالة : عجلة الجاذبية بالقرب من سطح الشمس هى حاصل ضرب ثابت الجاذبية (6.7×10^{-8}) فى كتلة الشمس (2×10^{33} جراماً) مقسوماً على مربع نصف قطر الشمس (7×10^{10} سم) ، أى :

$$\frac{6.7 \times 10^{-8} \times 2 \times 10^{33}}{(7 \times 10^{10})^{2}} = 3 \times 10^{4} \text{ سنتيمتراً فى الثانية فى الثانية .}$$

ويمكن أن تقارن المسافة التى يقطعها الضوء فى مجال جذب الشمس بطول قطر الشمس نفسها (6.7×10^{11}سم) ، ولهذا فإن الزمن اللازم لقطع هذه المسافة هو $\frac{1.4 \times 10^{11}}{3 \times 10^{10}} = 5$ ثوان . وخلال هذه الفترة من الزمن تكون حزمة الضوء قد « تساقطت » تجاه الشمس بمقدار :

$\frac{1}{2} \times 3 \times 10^{4} \times 25 = 3.7 \times 10^{5}$ سم ، وبذلك تكون الزاوية التى تعينها الإزاحة أو الزحزحة عند المركز هى :

$$\frac{3.7 \times 10^{5}}{7 \times 10^{10}} = 6 \times 10^{-6}$$ زاوية نصف قطرية أو ما يقرب من الثانية .

وتعطى الحسابات الأكثر دقة لمقدار زحزحة أشعة الضوء عند ما تقترب من قرص الشمس زاوية قدرها ١,٧٥ ثانية . ولما كانت النجوم القريبة من الشمس لا يمكن مشاهدتها إلا فى حالات الكسوف الكلى للشمس ، فقد قامت بعثة بريطانية فى عام ١٩١٩ لرصد كسوف الشمس الذى حدث فى أفريقيا (ولم يتمكن علماء الفلك الألمان من الذهاب بسبب ظروف الحرب العالمية الأولى) . ولقد أيدت النتائج ما توقعه أنشتين كل التأييد . وعند ما أخبر الرجل بهذه النتائج لم يفعل شيئاً

سوى أنه تبسم وقال : إنه كان يتملكه العجب لو أن النتائج جاءت سلبية . وهكذا برهنت هذه المشاهدة وغيرها من القرائن على قيام العلاقة بين الظواهر التى تشاهد فى مجالات الجذب والتى تحدث فى الأجهزة التى تتحرك بعجلة .

الجاذبية وانحناء الفضاء

ليس منا من لا يعرف المقصود بالخط المنحنى المرسوم على سطح منحنٍ ، ولكن فهم معنى الفضاء المنحنى ذى الأبعاد الثلاثة يتطلب بعض الخيال والتصور . ولعل الصعوبة فى تكوين فكرة عن الفضاء المنحنى أساسها أننا فى الوقت الذى نستطيع فيه أن ننظر إلى أى سطح من الخارج لنرى ما إذا كان مستوياً أو منحنياً ، نجد أننا نعيش داخل الفضاء ، ولا سبيل لنا إلى الخروج منه لنشاهده . وخير وسائل دراسة خصائص الفضاء المنحنى هى اللجوء إلى استخدام بديل له من كائنات خيالية ذوات بعدين اثنين تعيش على سطح وتنعدم عندها فكرة وجود اتجاه عمودى على سطحهم هذا . فكيف يستطيعون الحكم على السطح الذى يعيشون عليه بأنه مستوى أو منحن ، كرة أو شيئاً آخر من غير الخروج منه ؟ إجابة ذلك بالطبع هى أن عليهم أن يدرسوا الهندسة على سطحهم برسم أشكال متنوعة ، وقياس الزوايا وما على شاكلة ذلك . ويعطى شكل (٦ — ١٣) مثالا لمثل هؤلاء المهندسين من ذوات البعدين وهم يدرسون مثلثاً رسم على مستوى وعلى كرة ، ثم على ما نطلق عليه اسم « السطح الركابى » .

فإذا كان السطح مستوياً كما فى (ا) تستخدم قواعد هندسية أقليدس المستوية ، ويكون حاصل جمع زوايا المثلث الثلاثة مساوياً دائماً ١٨٠ درجة . وإذا كان السطح كروياً كما فى (ب) يكون حاصل جمع هذه الزوايا دائماً أكبر من ١٨٠ درجة على النحو الذى يمكن أن يتبينه أى واحد منا برسم مثلث مكون من نصفى خط الزوال لكرة ما ومقطع خط الاستواء المحصور بينهما . ولما كانت خطوط الزوال تقطع خط الاستواء فى زوايا قائمة فإن مجرد حاصل جمع زاويتى القاعدة للمثلث الكروى يعطينا ١٨٠ درجة . ويلزم أن نضيف إلى هذه القيمة الزاوية

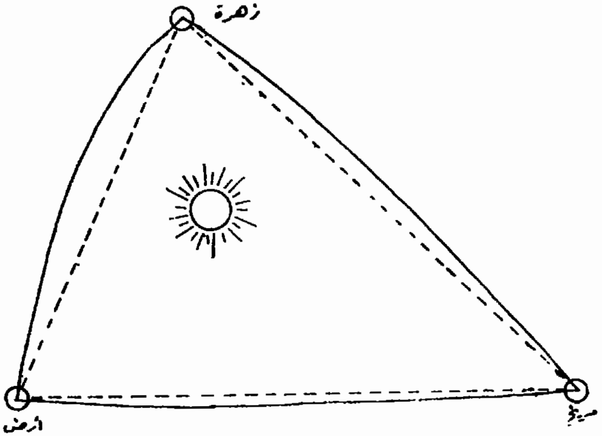
الموجودة عند القطب ، ومن الجائز أن تكون بدورها زاوية كبيرة . وكلما صغر المثلث الكروى قارب مجموع زواياه ١٨٠ درجة ، ولكن لا يختفى الفرق تماماً إلا إذا صغر المثلث بدرجة غير متناهية بالنسبة إلى الكرة المرسوم عليها . وفى حالة السطح الركابى (ﺟ) يختلف الوضع ، ويصبح حاصل جمع الزوايا الثلاث أصغر من ١٨٠ درجة . وفى العادة نسبغ على الأسطح الكروية المحدبة انحناء موجباً ، كما نسبغ على الأسطح الركابية (المقعرة) انحناء سالباً .

شكل (٦ — ١٣)

ثلاثة أنواع مختلفة من الأسطح المنحنية (ذات البعدين) . (ا) سطح مستو : الانحناء يساوى صفراً ، (ب) سطح كروى : انحناء موجب . (ﺣ) سطح ركابى . انحناء سالب . يمكن التفرقة بين هذه الحالات بوساطة كائنات عاقلة من ذوات البعدين عند ما ندرس هندسة الدوائر أو المثلثات .

وفى مقدورنا أن نعمم هذه الحالات لتشمل فضاء الأبعاد الثلاثة ، ونقول إن الفضاء مستو ، أو إن له انحناء موجباً ، أو انحناء سالباً بحسب ما إذا كان مجموع زوايا المثلثات المرسومة بين أى ثلاث نقط فى هذا الفضاء يساوى ، أو أكبر أو أصغر ، من ١٨٠ درجة على الترتيب . ولنأخذ حالة نجرى فيها تجربة على مثلث كبير يرصده ثلاثة من الفلكيين مزودين بآلات رصد الزوايا (ثيودوليت Theodolites) والمسافات ، أحدهما على الأرض ، والثانى على الزهرة ، والثالث على المريخ ، ونفرض أنهم قاسوا الزوايا الثلاث للمثلث أ ز م . وكما قلنا فى البند السابق : نظراً لأن أشعة الضوء يزحزح مسارها تحت تأثير مجال جاذبية الشمس (فينحنى تجاه الجسم المؤثر بالجاذبية) ، تبدو الأشعة الثلاث التى تكون المثلث كما فى شكل (٦ — ١٤) ، ويصبح حاصل جمع الزوايا الثلاث كما يرصدها هؤلاء الفلكيون أكبر من ١٨٠ درجة . وعلى ذلك يكون استنتاجهم أو حكمهم أن الفضاء الذى من حول الشمس هو فضاء منحن موجب الانحناء . وإذا أعيد أجراء التجربة

باستخدام المشترى وزحل ويورانوس ، التى توجد على أبعاد أكبر من أبعاد المجموعة الأولى بالنسبة إلى الشمس ، فإن زحزحة أشعة الضوء تحت تأثير جذب الشمس تكون أصغر من الحالة الأولى ، وبذلك يقارب مجموع الزوايا ١٨٠ درجة ، مما يدل على أن انحناء الفضاء الذى من حول الشمس يقل بازدياد البعد عنها . ومن الجائز أن يعترض شخص على تفسيرنا هذا للقياسات السابقة قائلا إن الفلكيين الثلاثة لا يقيسون مثلثاً منتظماً نظراً لأن أضلاعه غير مستقيمة . ولكن ما هو الخط المستقيم ؟ إن التعريف الوحيد المعقول للخط المستقيم هو : « خط النظر » . ولكن خط النظر هذا هو خط انتشار الضوء فى الفضاء الخالى !



شكل (٦ — ١٤)

مثلث الفضاء الذى من حول الشمس

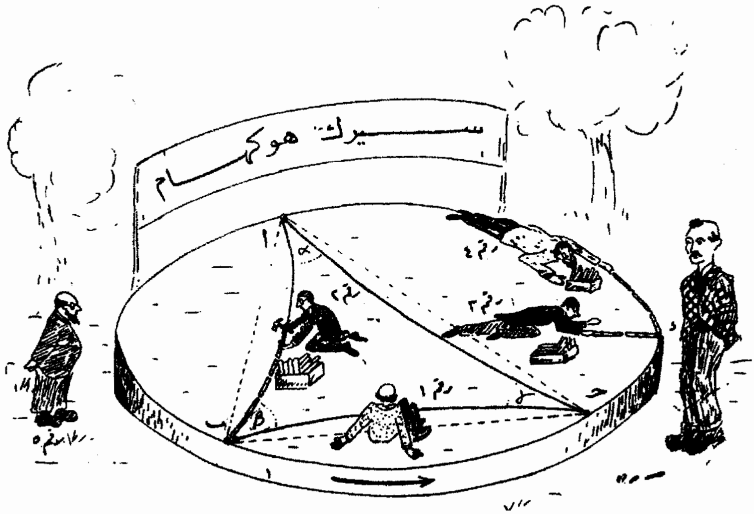
ويمكننا كذلك تعريف الخط المستقيم بأنه « أصغر بعد بين نقطتين » ، ولكن علم البصريات بحذافيره قائم على فرض أن الضوء يأخذ دائماً أقصر الطرق . وإذا ما فكرنا جدياً فى الوضع وجدنا أنه لا توجد طريقة أخرى معقولة نعرف بها الخط المستقيم ، وأن الخطوط المتصلة التى فى شكل (٦ — ١٤) يجب أن تعتبر بمثابة الخطوط المستقيمة فى الفضاء « المنحنى » ، وأن الخطوط المنقوطة المرسومة فى هذا الشكل ليس لها أى معنى طبيعى على الإطلاق . ولكى نتجنب الخلط بين التعاريف ، لا يستعمل لفظ « خط مستقيم » إلا للدلالة على أقصر المسافات فى

حالة الهندسة المستوية ، أما فى حالات السطح المنحنى والفضاء المنحنى فإننا يجب أن نستخدم بدلا من ذلك لفظ « الخطوط الهندسية » . وعلى ذلك يقابل الخط المستقيم أقواس الدوائر العظمى على سطح الكرة ، تلك الأقواس التى نستخدمها فى بناء المثلثات الكرية . وعلينا أن نلاحظ هنا أن العبارة القديمة المستخدمة فى هندسة أقليدس التى تقول بأن « الخطوط المستقيمة لا تتقابل أبداً » لا تصلح فى حالة الهندسة الكرية ، وذلك نظراً لأنه لا مناص من تقاطع أى دائرتين عظيمتين فى نقطتين . وعند ما تبدأ طائرتان من نقطتين على خط الاستواء ، وتنطلقان فى اتجاهين متوازيين ومتعامدين على خط الاستواء من غير أن تغير إحداهما اتجاهها ، فإنهما لا مناص من تصادمهما بمجرد وصولهما إلى القطب .

ويمكن زيادة إيضاح التوافق القائم بين مجال الجاذبية وانحناء الفضاء بالحركة الآتية ذات البعدين : عند ما ندحرج كرة (البليارد) على منضدة مسطحة مثبتة فى وضع أفقى تماماً ، تتحرك الكرة بطبيعة الحال ، على طول خط مستقيم كما هو معروف . ولكن إذا كان بالمنضدة أى انخفاض صغير لسبب من الأسباب ووجد بروز بسيط فى خط سير الكرة ، فإن هذه الأخيرة سوف تزحزح عن مسارها « المستقيم » متجهة نحو مركز الانخفاض ومبتعدة عن قمة البروز . وعند ما نعمد إلى رصد الكرة من أعلى (من ثقب فى السقف) لن نلاحظ عيب سطح المنضدة ، ونميل إلى الاعتقاد بوجود قوى تجاذب أو تنافر تدفع بالكرة من نقطة معينة على سطح المنضدة . وكذلك فإن زحزحة أشعة الضوء والأجسام المادية المتحركة على مقربة من الشمس يمكن أن يعبر عنها إما على أنها قوى تؤثر فيها ، وإما نتيجة لانحناء الفضاء بجوار الكتل المادية العظيمة .

ولننظر الآن إلى هذه المسألة من زاوية أخرى ، ونحاول دراسة الظواهر الطبيعية كما يرصدها شخص على مسرح أو منصة كبيرة تلف – شكل (٦ — ١٥) وتماثل هذه التجربة الذهنية حالة صندوق أنشتين التى سبق أن ناقشناها ، مع اختلاف بسيط هو إبدال العجلة المستقيمة (أى التغير فى القيمة العددية للسرعة مع ثبوت الاتجاه) ، بعجلة دائرية (أى تغير اتجاه السرعة مع ثبوت قيمتها العددية) . ونستطيع أن نضيف إلى هذه المنصة التى تدور قبة على هيئة نصف

كرة تدور معها وتحول دون مشاهدة الناس فى الداخل للأشجار والبيوت وهى تجرى من حولهم . وكما هو معلوم لنا جميعاً ، يقع الموجودون على المنصة فى أثناء دورانها تحت تأثير القوة الطاردة المركزية التى تعمل على زحزحتهم بعيداً عن المركز ، وقد يعتبرونها نوعاً خاصًّا من الجاذبية من صفاته الرد بدلا من الجذب . ويعظم تمثيلها بالجاذبية نظراً لأنه إذا تشبث أحد أولئك الأشخاص بالمنصة ثم وضع عليها كرتين ، إحداهما خفيفة والأخرى ثقيلة ، فإن الكرتين سوف تتدحرجان جنباً إلى جنب تماماً كما يسقط جسمان جنباً إلى جنب من أعلى أى برج . ولما كان الرجال الموجودون على المنصة من علماء الفيزياء المحنكين ، وهم على بينة من كل المعلومات التى سبقت الإشارة إليها فى هذا الباب ، فإنهم قد يعمدون إلى إيجاد علاقة بين هذا « المجال الشبيه بمجال الجاذبية » وهندسة الفراغ ، ثم يحاولون عمل بعض القياسات الهندسية . وقد تبدأ محاولاتهم برسم مثلث رؤوسه فى ا ، ب ، ج ، ثم يقيسون حاصل جمع زواياه . وباستخدام تعريف الخط المستقيم كأقرب بعد بين نقطتين ، فإن عالم الفيزياء رقم (٢) [الفيزيائى رقم (١) هو مجرد رئيس كبير يراقب العمل ويديره] يحضر صندوقاً مليئاً بالعصى الخشبية التى لها جميعها نفس



شكل (٦ — ١٥)

دراسات هندسية على منصة تدور

الطول القياسى ، ويحاول تثبيتها بالمسامير على طول الخط الممتد من ا إلى ب بحيث يستخدم أقل عدد منها . فإذا لم تكن المنصة تلف فإن خير وسيلة لإنجاز ذلك هو أن يثبتها على طول الخط المنقوط ا ب المبين فى الشكل ، ولكن يختلف الوضع نظراً لدوران المنصة ، فإن العصى تلف فى اتجاه طولها وتتعرض بذلك لانكماش فيتزجيرالد . وفى الحقيقة سوف يتأكد الفيزيائى رقم (٥) الواقف على الأرض من حدوث هذا الانكماش . وتتحرك العصى الوسطى فى اتجاه طولها تماماً وتقع تحت التأثير الكامل لانكماش فيتزجيرالد ، بينما يكون نصيب العصى الواقعة قرب الحافة مجرد مركبة صغيرة من السرعة فى اتجاه طولها . وينجم عن هذا الانكماش حدوث مسافات أو ثغرات بين العصى وبعضها ، ويجب على رقم (٢) إضافة عدد آخر منها ليسد هذه الثغرات ، ولكن هناك على الأقل علاج جزئى لهذه المشكلة ، فإذا ما حركت العصى قليلا تجاه المركز فإنه ينتج عن ذلك تقليل سرعتها المستقيمة وكذلك مقدار الانكماش الحادث فيها ، ولا نحتاج بذلك إلا إلى عدد من العصى أقل من العدد الذى يستخدم فى الحالة الأولى . وعلى ذلك سوف يضع رقم (٢) عصيه على النحو الموضح فى الشكل ، كما أنه سوف يجبر على اتباع الطريقة نفسها بالنسبة للضلعين الآخرين . وهنا يكون حاصل جمع الزوايا الثلاث للمثلث أقل من ١٨٠ درجة ، ويستنتج الفيزيائيون الموجودون على المنصة أن الفضاء عندهم سالب الانحناء .

ونستطيع أن نضيف إلى ذلك أنه عندما يقرر أولئك العلماء مراجعة هذه النتيجة واختبارها بالطرق الضوئية ، فإنهم لاشك سوف يصلون إلى نفس الشىء . فليس من شك أنه نظراً لأن مجال القوة الطاردة المركزية يحكى من شتى الوجوه مجال جاذبية طاردة ، فإن أشعة الضوء الواصلة بين الرؤوس ا ، ب ، جـ سوف تتزحزح مبتعدة عن مركز دوران المنصة ، وبذلك تأخذ خط السير الذى أخذته العصى من قبل .

وهناك شخصان آخران — رقم (٣) ، رقم (٤) — يعملان عملا غير ذلك على المنصة ، فهما يحاولان قياس النسبة بين المحيط والقطر ، وهى التى نرمز لها فى الهندسة المستوية بالحرف الإغريقى π * . ومرة أخرى يلعب دوران المنصة

* هى النسبة التقريبية وقيمتها العددية ٣,١٤١٦ (المترجم) .

دوره فى هذا الباب : فبينما رقم (٣) سوف لن يتعرض لأية متاعب نظراً لأن العصى التى يستخدمها إنما تتحرك فى اتجاه متعامد على أطوالها وبذلك يقل سمكها من غير أن يتغير طولها، نجد أن العصى التى يستخدمها رقم (٤) تتعرض للنهاية العظمى لانكماش فتزجيرالد ، ويكون على هذا الشخص الأخير أن يستخدم أكبر عدد من العصى . وعلى ذلك فإن النسبة بين المحيط والقطر عند ما تقاس وتحدد على المنصة تكون أكبر من ٣٫١٤١٦٠٠٠ التى نستخدمها فى الهندسة المستوية ، ومرة أخرى تؤيد هذه النتيجة استنتاج القوم بأن انحناء الفضاء عندهم سالب .

ولنعد الآن مؤقتاً إلى الأسطح المنحنية ذات البعدين ، لنرى ما يحدث إذا عمدنا إلى رسم بعض الدوائر عليها . فعلى الكرة تعرف الدوائر التى نرسمها بحيث يكون المركز هو القطب باسم (المتوازيات) (أو خطوط العرض) ، ومن الجلى والواضح أن النسبة بين طول أى متوازية وقطرها (كما نقيسه على طول خط الزوال) أقل من π . ونحن نجد فى الحقيقة أن طول خط الاستواء (المتوازية صفر) مقسوماً على طول خط الزوال هو ٢ فقط . ويزداد طول المتوازيات ببطء أكبر من ازدياد أنصاف أقطارها، كما تقاس على طول خطوط الزوال. فللمتوازيات (خطوط العرض) ٨٠ و ٧٠ و ٦٠ وهكذا . . . (التى أنصاف أقطارها ١٠ ، ٢٠ ، ٣٠ إلخ . درجة) تزداد الأطوال ببطء أشد من ١ ، ٢ ، ٣ . . . وبالمثل فإن المساحة السطحية التى تتضمنها هذه المتوازيات تزداد ببطء أكبر من ١ ، ٤ ، ٩ ، إلخ . ويحدث العكس على السطح الركابى ، حيث تزداد أطوال الدوائر بسرعة أكبر من أنصاف أقطارها ، وكذلك تزداد المساحات بمعدلات أكبر من مربعات أنصاف الأقطار . فإذا ما قطعنا قطعة جلد دائرية من كرة القدم ، ثم وضعناها على المنضدة فإنها سوف تبرز من وسطها ، ويكون لزاماً علينا أن نسحبها من أطرافها لكى نجعلها مسطحة . وعلى العكس من ذلك نجد أن قطعة الجلد المقطوعة من ركاب الخيل المستخدم فى الغرب تتضمن كمية من الجلد أكثر من اللازم على حافتها ، ولابد من تقلصها لكى نجعلها منبسطة . وبهذا التشابه يجب علينا مرة أخرى أن نسبغ على فضاء المعمل الذى يلف انحناء سالباً .

وفي حالة الفضاء المكون من أبعاد ثلاثة ، نجد أن سطح الكرة يزداد ببطء أكبر من نق٢ ، كما أن الحجم يزداد ببطء أشد* من نق في حالة الانحناء الموجب ، والعكس صحيح في حالة الفضاء السالب الانحناء . وتمدنا هذه النتيجة الرياضية بأساس عمل قيم جداً في مجال الفلك قام به أدوين هبل في مرصد جبل ولسن منذ سنين مضت . ولما كان هبل من الخبراء في مجرات النجوم التي تتناثر البلايين منها عبر الفضاء الكوني الذي يمكن مشاهدته بالمناظير المكبرة ، فقد قرر أن يدرس ما إذا كان عدد المجرات الموجودة على أبعاد مختلفة منا يتزايد طردياً ، أو ببطء أكبر ، أو حتى أسرع من مكعبات تلك الأبعاد . فإذا ما صح الاحتمال الأول وجب علينا أن نعتبر الفضاء الكوني من نوع فضاء أقليدس ، وإذا صح الاحتمال الثاني فإن انحناء الفضاء يكون موجباً ، وبذلك وجب أن يقفل على نفسه . أما إذا صح الاحتمال الثالث فإن معنى ذلك أن للفضاء انحناء سالباً فيتفتح ويتسع في شتى الاتجاهات . ولسوء الحظ كانت طرق الرصد لقياس المسافات بين المجرات في ذلك الوقت غير متقدمة على الإطلاق ، وناقضت نتائج هبل بعضها بعضاً ، ولم تدل على شيء . والأمل عظيم في أن تعاد بحوث هبل في « عد المجرات » باستخدام طرق أحسن للرصد لنصل إلى جواب حاسم نجيب به على هذه المسألة الكونية الهامة .

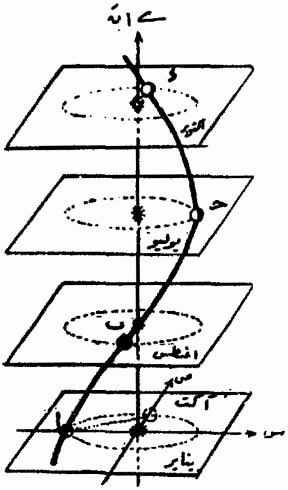
وفي ضوء الاعتبارات السابقة تقدم أنشتين بنظرية تفسر جميع التأثيرات الناجمة عن الجاذبية بانحناء الفضاء . ومن حسن حظ الرجل أن كان أحد علماء الرياضة الألمان ، المدعو برنهارد ريمان ، قد أخرج للناس قبل ذلك ببضع عشرات السنين نظرية رياضية شاملة عن الفضاء المنحنى المكون من أي عدد من الأبعاد ، ولم يكن من أنشتين إلا أن استخدم المعادلة الرياضية الموجودة على الفضاء المنحنى كحقيقة طبيعية . وليس من شك أنه كان من نوع فضاء الأربعة الأبعاد ، وأحداثياته هي س ، ص ، ع ، ت أن التي سبق أن عرفناها . وعند ما وجدت العلاقة القائمة أو القانون الذي يربط بين ما يطلق عليه اسم « امتداد الانحناء لوحدة المكان الزماني » وتوزيع الكتل المادية وتحركاتها . [هذا القانون الأساسي

---

* لاحظ أن مساحة سطح الكرة هي ٤ ط نق ٢ وأن حجمها يساوى $\frac{٤}{٣}$ ط نق ٣ (المترجم).

موضح تحت صورة أينشتين فى شكل (٦ — ٦)] ، استطاع أينشتين الحصول على كل نتائج نظرية الجاذبية لنيوتن كتقريب أولى . وعلى أية حال فإن الحسابات التى عملت بدقة أعظم من هذا التقريب دلت على وجوب وجود اختلافات صغيرة وحيود عن نظرية الجاذبية الأصلية لنيوتن، وإن اكتشاف هذه الاختلافات سوف يبرهن على ترجيح آراء ووجهات نظر البرت وتفوقها على آراء إسحق . ومن بين نتائج نظرية أينشتين للجاذبية ، وهى النتيجة المتعلقة بزحزحة الضوء عن مساره فى مجال الجاذبية ، ما قد أتممنا مناقشته وبحثه . ومن النتائج الهامة كذلك تلك النتيجة المتعلقة بحركة الكواكب حول الشمس . فقد برهن نيوتن على أنه تبعاً لقانونه الخاص بالجاذبية يتحتم أن تسبح الكواكب فى مسارات على هيئة أهليلج (قطاعات ناقصة) من حول الشمس ، تمشياً مع القوانين التى وجدها كبلر بالتجربة . أما فى نظرية أينشتين فإن جميع الحركات إنما تدرس فى عالم الأبعاد الأربعة (س ، ص ، ع ، ت إن) ، وهو عالم ينحنى حيثما توجد مجالات الجاذبية . ويلزم أن تكون الخطوط التى تمثل « تاريخ الحركة » لأى جسم مادى فى عالم الأبعاد الأربعة ، وهى الخطوط المعروفة باسم « الخطوط الكونية » أو « الخطوط العامة » للجسم ، نقول يلزم أن تكون هذه الخطوط « مسحية » أى تمثل أقصر الخطوط ، ويمكن حسابها على أساس نظرية النسبية الخاصة بمجال الجاذبية .

ويعطى شكل (٦—١٦) تمثيلا بيانيا للخط الكونى للأرض فى حركتها من حول الشمس ويقع إحداثيا المكان س ، ص فى مستوى القطاعات الناقصة ، أما البعد الثالث فهو الإحداثى الزمنى ت إن . وجلى أن وحدة المكان الزمانى تنحنى بالقرب من الشمس ، وينتمى خط الأرض الكونى إلى أكثر الخطوط استقامة (أى المسحى) فى هذا الفضاء المنحنى . وعلى ذلك فإن الخط ا ب جـ د هو أقصر بعد بين النقطتين (الحادثتين) ا ، د فى وحدة المكان والزمان ذات الأبعاد الثلاثة ، ويعطى مسقطه على المستوى (س ، ص) مسار الأرض حول الشمس ، وعلى أية حال فقد دلت الحسابات الدقيقة على أن هذا القطع الناقص لا يظل ثابتاً فى الفضاء كما توحى بذلك نظرية نيوتن. وإنما هو يدور ببطء، بينما يرسم محوره الأكبر زاوية صغيرة فى أثناء كل دورة . ويلزم أن تكون هذه الظاهرة أكثر وضوحاً فى حالة مدار



شكل (٦ — ١٦)

الخط الكونى أو الخط العام للأرض وهى فى مسارها من حول الشمس ، مرسوما فى مجموعة المحاور (س، ص ، ت ا ن) . المسافة فى المكان الزمانى بين وضع الأرض فى يناير ووضعها فى أكتوبر هى أقصر بعد ، ولكن المسافة بين وضع يناير ومسقط وضع أكتوبر على مستوى يناير (أكت) ليست هى أقصر الأبعاد بطبيعة الحال .

الكوكب عطارد ، نظراً لأنه أكثر استطالة عن مدار أى كوكب سيار آخر ، كما أنه أقربها للشمس . ولقد وجد أينشتين بالحساب أنه يلزم أن يعمل مدار عطارد زاوية قدرها ٤٣ ثانية فى كل قرن ، وبذلك حل معضلة أو لغز الديناميكا السماوية القديم . وقد سبق أن حسب علماء الفلك الرياضيون قبل مولد أينشتين بمدة طويلة أن المحور الأكبر لمدار عطارد هذا يلزم أن يلف ببطء بسبب القلقلة ، أو الاضطرابات التى تسببها جاذبية الكواكب الأخرى الداخلة ضمن المجموعة الشمسية ، ولكن كان هناك عدم توافق ظاهر بين تلك الحسابات ونتائج الرصد وصلت قيمته إلى ٤٣ ثانية فى كل قرن كامل . ولم يكن فى مستطاع أحد أن يفسر عدم التوافق هذا ، إلا أن النظرية النسبية لأينشتين الخاصة بمجالات الجاذبية ملأت هذا الفراغ وحلت تلك المشكلة ، وبذلك تم لها النصر المبين على نظرية نيوتن القديمة .

نظرية المجال المتحد

تمخضت نتائج أعمال أينشتين التى أمضى فيها حياته عن تحويل جانب كبير من الفيزياء ؛ إلى هندسة : فالزمن أصبح رفيقاً رابعاً لإحداثيات المكان الثلاثة ولا يفارقها (بصرف النظر عن ت) ، وفسرت قوى الجاذبية على أنها نتيجة لانحناء عالم الأبعاد الأربعة هذا . ولكن بقيت القوى الكهربية والمغنطيسية خارج إطار هذه الفكرة الهندسية ، إلا أن أينشتين بعد أن أحرز كل هذا التقدم وجه جميع طاقاته من أجل وضع لجام للمجال الكهرمغناطيسى العنيد . فما هى الخواص الهندسية للمكان ذى الأبعاد الأربعة التى لم تطرق ويمكنها أن تفسر لنا التأثيرات الكهربية والمغناطنسية؟ ولقد بذل أينشتين نفسه وكذلك كثيرون من «الفيزيائيين المهتمين بالأمر» مثل عالم الرياضة الألمانى هرمان ڤيل ، كثيراً من الجهد من أجل إعطاء المجال الكهرمغناطيسى صورة هندسية بحتا. ولكن فى عناد الإسكتلنديين المعهود ، رفض طفل وليم كلارك مكسويل [ألا وهو المجال الكهرمغناطيسى] ، أن يقبل هندسته. واستمر أينشتين يعمل زهاء نحو أربعين سنة حتى موته عام ١٩٥٥ فى تلك النظرية المعروفة باسم « نظرية المجال المتحد » ، أى النظرية التى تهدف إلى توحيد مجالى الجاذبية والكهرمغناطيسية على أساس هندسى واحد . ولكن بمضى السنين ضعف أمله فى الوصول إلى نتيجة ، وراح يخرج إلى الناس بين الفينة والفينة بمجموعات جديدة من المعادلات والقوانين . كن يدعى أنها تقرب من حل عقدة نظرية المجال المتحد. وكانت تلك التعبيرات المعقدة الخاصة بالكميات الممتدة تطبع على الصفحات الأولى لجريدة (نيويورك تيمز New York Times) وغيرها من الجرائد فى العالم ، إلا أنه كان يكتشف عدم صلاحيتها فى القيام بالغرض المنشود. وفقد رجال الفيزياء النظرية على التدريج الأمل ، سواء الكبير منهم أو الصغير ، فى إعطاء المجال الكهرمغناطيسى صورة هندسية بحتًا .وكم كان يحلو لنا ويسعدنا أن ينجحوا فى تلك المهمة ، ولكن هيهات أن ترغم الطبيعة على ماليس من ديدنها ، ومن ناحية أخرى كان علم الفيزياء يتقدم بسرعة فى مجالات فروعه التى اكتشفت حديثاً ، وبالإضافة إلى مجالى الجاذبية والكهرمغناطيسية

التقليدية القديمين احتلت المجالات الحديثة التى أدخلت عن طريق ميكانيكا الموجات وضعاً ثابتاً فى العلم . ولو أنه حدث أن أعطى المجال الكهرمغناطيسى معنى هندسيا بحتاً لوجب علينا أن نخضع مجالات الميسون ومجالات الهيبرون ، وغيرها من عديد المجالات الأخرى الحديثة حتى يكون فى مقدورنا أن نقول : ما الفيزياء إلا هندسة . وحتى أينشتين نفسه بدأ يتزايد غضبه على رسالته تلك ونفوره منها ، كما قل ميله لمناقشة تلك المسائل مع غيره من الفيزيائيين . وفى إحدى زياراته لبريطانيا ألقى محاضرة عن نظرية المجال المتحد فى إحدى مدارس البنات فى شمال انجلترا (وكان المسئولون فى المدرسة قد احتجزوا السبورة بعد أن ملأها بمعادلات الكمية الممتدة — هى التنسور — المعقدة) ، إلا أنه رفض التكلم عنها فى جامعة كمبردج وازداد اهتمامه وانشغاله بمسألة السلام العالمى ، ولكنه ظل حاد الذهن كما كان . وعندما كان مؤلف هذا الكتاب يزور أينشتين إبان الحرب العالمية الثانية فى مسكنه الهادئ فى برنستن ، ألفاه ما زال جذاباً كعادته ، ويذكر كثيراً من النقاش الذى جرى حول فروع الفيزياء الحديثة المختلفة . وعلى درج مكتبه تناثرت قطع من الورق وقد غطت صفحاتها معادلات الكميات الممتدة — تنسورز — المعقدة ، التى يلوح أنها كانت تتصل بموضوع نظرية المجال المتحد ، إلا أن أينشتين لم يشأ قط الخوض فى ذلك الموضوع . والآن — وهو ينعم فى الجنة دون شك — لابد أنه قد عرف ما إذا كان قد أخطأ أو أصاب فى محاولته من أجل جعل كل الفيزياء علماً هندسياً .

الباب السابع

قانون الكم

قابلية المادة للانقسام

كان لفظ الذرة (آتوم Atom) ومعناه فى الإغريقية الذى لا يقبل الانقسام)، كما لا يخفى على أحد من بنات أفكار ديموقريطس الذى عاش فى أثينا وعلم فيها منذ نحو ٢٣ قرناً مضت، فقد اعتبر ديمقريطس أنه ليس من المعقول أن تنقسم المادة إلى جسيمات أصغر فأصغر من غير حد معين تقف عنده عملية الانقسام، وبذلك قرر أنه لابد أن توجد جسيمات نهائية تبلغ من الصغر الحد الذى يستحيل معه تقسيمها إلى جسيمات أصغر. وميز ديموقريطس بين أنواع أربعة من الذرات هى: ذرات الحجر، وذرات الماء، وذرات الهواء، ثم ذرات النار، واعتقد أن جميع أنواع المواد المختلفة المعروفة إنما تنجم عن تراكيب متباينة من هذه العناصر. وتكون آراؤه، تلك التى أخذت ووضعت على أساس تجريبى متين فى أوائل القرن التاسع عشر بوساطة الكيموى البريطانى جون دالتون، دعائم وأسس جميع الكيمياء الحديثة، برغم أننا نعرف الآن أن الذرات ليست بتاتاً غير قابلة للانقسام، وأن لها فى الواقع تركيباً داخلياً معقداً إلى حد ما. وعلى أية حال فإن فكرة ديموقريطس الخاصة بالنهاية فى الابتدائية إنما تترجم الآن إلى جسيمات أصغر من ذلك الحد بكثير تدخل فى صميم التركيب الداخلى للذرة. ونحن نرجو أن تكون الكهارب (الألكترونات)، والبروتونات وغيرها مما نطلق عليه اسم «الجسيمات الأولية»، أولية بحق وصدق وغير قابلة للانقسام بمعنى الكلمة كما تصورها ديموقريطس الطبيب قديماً. ومن الجائز أن يكون هذا الإحساس ناتجاً عن قلة تعودنا نسبياً، أو تعرفنا على تلك الجسيمات التى اكتشفت حديثاً، وأننا نرتكب هنا نفس الخطأ الذى وقع فيه كيميائيو وفيزيائيو القرن التاسع عشر، الذين آمنوا بوقوف انقسام المادة عند حد الذرات. ومن الجائز أن يعرف فى المستقبل، بطبيعة الحال، أنه إذا كانت للجسيمات الأولية التى نعرفها اليوم

تركيبات معقدة ، ثم نؤلف لأجزائها المختلفة أسماء جديدة ، فإن هذا سوف يدل على عدم انتهاء الطريق ، وعندما تمضى سنوات أخرى تعمل خطوة تالية نحو الكشف عن جسيمات أصغر وأصغر . ونحن لا نعرف سبيلا للتكهن بتطورات العلم فى المستقبل ، وكذلك لا تمدنا الطرق المعملية بالإجابة عما إذا كانت آراء ديموقرايطس الفلسفية الأولى الخاصة بعدم استمرار الانقسام هى آراء صائبة أم خاطئة . ولكن لسبب من الأسباب ، يشعر فريق كبير من العلماء ، ومن بينهم مؤلف هذا الكتاب ، بالاطمئنان والثقة فى الرأى القائل إنه بدراسة المادة « تصل الأمور إلى النهاية » ، وإن علماء الفيزياء فى المستقبل سوف يقفون على جميع أسرار تركيب المادة الداخلى . ويلوح كذلك من المقبول والمعقول جداً أن الجسيمات الأولية التى نتحدث عنها اليوم فى الفيزياء الحديثة تستحق أن تسمى كذلك مادة فى المادة ، وذلك نظراً لأنها تبدو فى صفاتها وسلوكها أبسط بكثير مما قيل عن الذرات على الإطلاق .

شظية من الذرة القديمة

وجه علماء الفيزياء جهودهم فى أواخر القرن التاسع عشر إلى إمرار الكهربا خلال الغازات . وكان معروفاً منذ قرون أن الغازات ، وهى فى العادة من نوع الأجسام العازلة بدرجة عالية للكهربية ، يمكن أن تعتبر موصلة لها إذا ما استخدمت قوى كهربية عظيمة . وتتراوح شدة التفريغ من حدود الشرارات الصغيرة التى تحدث بين أكر الباب ويد رجل يكون قد مشى فوق فرش من السجاد وهو يلبس حذاء من المطاط ، إلى البرق الذى يخطف الأبصار إبان عواصف الرعد . ولكن السير وليم كروكس ، الذى طمست بعض معالم إضافاته للعلم بسبب اعتقاده فى تحضير الأرواح والظواهر الخارقة للطبيعة ، برهن على أن مرور الكهربا فى الغازات يحدث بطريقة أكثر أمنا عندما يخفض ضغط الغاز إلى كسر صغير من قيمة الضغط الجوى . وكانت أنابيب كروكس تتوهج بأضواء زاهية تعتمد على طبيعة الغاز المستعمل ، وهى ما زالت تضىء شوارع المدن اليوم معلنة عن الفنادق ، والأندية الليلية وغيرها من آلاف الأشياء الأخرى . وعندما يكون ضغط الغاز فى الأنبوبة (التى يستخدم فيها جهد كهربى عال) منخفضاً بدرجة كافية ، تظهر حزمة واضحة

المعالم تنبثق من المهبط وتتجه إلى المصعد ، وقد تقع على طرف الأنبوبة البعيد عندما يبعد الفيزيائى المختص المهبط عن طريق الحزمة . وعندما تصطدم الحزمة الغامضة المنبعثة من قرص المهبط بجدار الأنبوبة الزجاجى تجعله يتوهج بضياء أخضر باهت . ويرى أى جسم يوضع فى طريق هذا الضياء ظلا واضح المعالم . وعندما وضع كروكس قضيباً مغناطيسياً بالقرب من الأنبوبة شاهد زحزحة الحزمة عن مسارها كما لو كانت فى حالة تيار كهربى أو مجموعة من الجسيمات المشحونة بالكهربة السالبة تطير متباعدة عن المهبط . وخلال تلك الفترة على وجه التقريب وجد جين برن فى فرنسا أن القرص المعدنى الموضوع فى طريق تلك الحزمة اكتسب شحنة سالبة . ودلت كل هذه القرائن على أن تلك الجسيمات ما هى إلا جسيمات سالبة الشحنة تنطلق عبر الغاز المخلخل على غرار أيونات « فارادای » التى تتحرك خلال السوائل فى عمليات التحليل الكهربى . وتركز الفرق الرئيسى بين الحالتين ، بطبيعة الحال ، فى أنه بينما تتلمس الأيونات طريقها ببطء عبر جزيئات السائل المكدسة جنباً إلى جنب ، ولا تفقد سبيلها إلى القطب المضاد قط ، نجد أن أشعة المهبط (كما سميت) فى الغازات المخلخلة تنطلق مباشرة فى خطوط مستقيمة وتصطدم بكل ما يعترض سبيلها .

وعارض وجهات النظر هذه عالم الفيزياء الألمانى فيليب لنارد ، الذى وجد أن شعاع المهبط يستطيع أن ينفذ بسهولة تامة خلال حواجز مختلفة موضوعة على طول مساره من غير ثقبها كما تفعل الجسيمات المادية . وقال لنارد إنه لا يمكن أن يحدث هذا إلا بوساطة الأمواج ، وليس بسبب سرب من الجسيمات المادية . وبطبيعة الحال عندما عرفنا اليوم أنه لا مناص من بناء جدران مسلحة سمكها عدة أقدام من حول المفاعل الذرى للحيلولة دون تسرب النيوترونات إلى الخارج ، تلك التى تسبب الأمراض الإشعاعية لأفراد الوحدة الذرية ، نتبين ضعف وجهة نظر لنارد ، إلا أنه فى ذلك الوقت اعتبرها الناس من القرائن والحجج القوية .

ووكل المجلس الأعلى للنهوض بالعلوم إلى جوزيف جون تمسون ، السير جوزيف فيما بعد ، مهمة تفسير هذا التضارب فى النتائج العملية ، وبرهنته أن أشعة المهبط ما هى إلا مجار من الجسيمات ، وكذلك مهمة تعرف الخصائص الطبيعية لهذه الجسيمات — شكل (٧ — ١ إلى اليمين) — ، وهو من علماء الفيزياء ، من مواليد

منشستر ، وكان قد بلغ الأربعين من عمره وعين مديراً لمعمل كافندش الشهير بكمبردج الذى يعتبر من أكبر مراكز دراسات الفيزياء فى العالم . وعندما افترض تومسون أن أشعة المهبط تتكون من جسيمات تتطاير بسرعة ، قرر أن يعين كتلتها وشحنتها الكهربية . ومن بين مصادر الحصول على معلومات تختص بهذه المقادير الزحزحة التى يمكن مشاهدتها فى مسار أشعة المهبط تحت تأثير المجال المغناطيسى — شكل (٧ —٢ ب) —. ولا تتوقف هذه الزحزحة (أو انحراف المسار) على قيمتى شحنة وكتلة الجسيمات المتطايرة فحسب ، ولكن على سرعتها كذلك . وبقياس هذه الزحزحة يمكن التعرف على حاصل الضرب $\frac{\text{الكتلة} \times \text{السرعة}}{\text{الشحنة}}$ أو $\frac{\text{ك ع}}{\text{ى}}$ ، حيث ك هى كتلة الجسيم ، و ى مقدار ما يحمل من شحنة كهربية . وعلى أية حال تدلنا الدراسة النظرية على أن الزحزحة التى تنجم عن المجال الكهربى شكل (٧ — ٢ ا) — إنما تتوقف كذلك على تركيبات رياضية أخرى لهذه المقادير ، وهى حاصل الضرب

شكل (٧ — ١)

اللورد رذرفورد (إلى اليسار) والسير ج . ج . تمسون

$\frac{\text{ك ع}^{٢}}{\text{ى}}$. وعلى ذلك عندما قاس الزحزحة فى الحالتين وربط النتائج بعضها ببعض ، استطاع تمسون أن يعين كلا من سرعة الحركة ع والنسبة بين الشحنة والكتلة $\frac{\text{ى}}{\text{ك}}$ على انفراد . وبينما كانت ع تتوقف على فرق الجهد الكهربى الذى يستخدم فى الأنبوبة ،

ظلت $\frac{ى}{ك}$ ثابتة دائماً وتساوى ٥,٢٨ × ١٠^١٧ $\frac{\text{وحدة كهربية ستاتيكية}}{\text{جرام}}$ * .

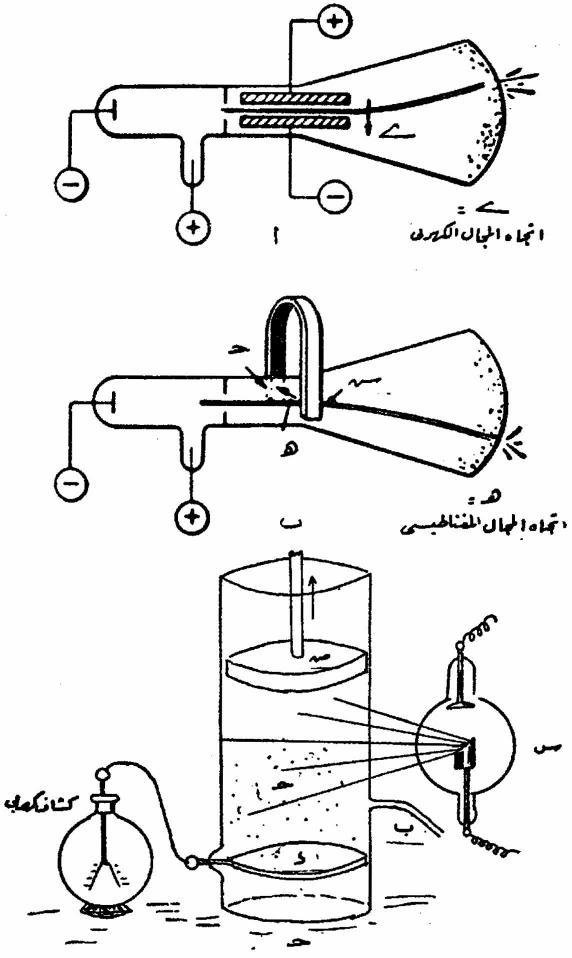
ورغم أنه كان واضحاً تماماً أن قيمة ى العددية يلزم ألا تختلف عن قيمة وحدة الشحنة الابتدائية التى وجدها فاراداى فى تجاربه على التحليل الكهربى للسوائل ، أجرى تمسون تجربة خاصة لقياس قيمتها فى حالة جسيمات الغازات المتحللة إلى مركباتها الكهربية (أى المتأينة) والمعروفة باسم (الأيونات) . وكانت الطريقة التى استخدمها تتوقف على اكتشاف قام به عالم آخر من علماء كافندش الفيزيائيين ، هو ك . ت . ر . ولسون (تقول إحدى أغانى كمبردج : ك. ت. ر ، نجم ساطع الأنوار) ، الذى وجد أنه عندما يبرد الهواء المنقى من الأتربة والغبار والمشبع ببخار الماء تبريداً فجائياً بالانتشار * * ، تتكون نقط صغيرة من الماء على الأيونات الموجودة فى الهواء * * * ، وفى حالات الانتشار البسيط (تحت ٣٠٪) يحدث التكاثف على الأيونات السالبة فقط التى تعمل كنويات للتكاثف ، أما فى حالات الانتشار الكبير ، فيتكاثف بخار الماء على كل من الأيونات السالبة والأيونات الموجبة . ويبين شكل (٧ — ٢ ج) الطريقة التى اتبعها تمسون فى تجربته . ويتكون الجهاز من أسطوانة من الزجاج ج لها مكبس ص وقرص من المعدن د يتصل بكشاف كهربى ، وتملأ هذه الأسطوانة بالهواء الرطب عن طريق الأنبوبة ب ، كما تضاء بالأشعة السينية (س) . وعندما يسحب المكبس فجأة ويتمدد الهواء (بقدر أقل من ٣٠٪) تتكون سحابة من الضباب قوامها نقط الماء التى تتكاثف على الأيونات السالبة — وتستقر سحابة الضباب تدريجيا فوق القرص د ، وبذلك يمكن قياس الكمية الكلية لشحنة الأيونات الكهربائية بوساطة الكشاف الكهربى. وبمعرفة الكمية الأصلية لبخار الماء العالق فى هواء الأسطوانة ، ومتوسط حجم نقط الماء الذى نجم عنه الضباب ، يمكن تعيين العدد الكلى لجميع نقط الماء المترسبة ، أو عدد الأيونات

---

* سبق شرحها فى الباب الخامس (المؤلف) .

** التبريد بالانتشار أو التمدد نتيجة تقليل الضغط هو أهم أسباب التبريد التى ينجم عنها تكاثف أبخرة المياه فى الجو . وهو يحدث عندما يرتفع الهواء إلى أعلى فتتكون السحب ، وقد ينهمر المطر . أما فى المعمل فإن ذلك يتم داخل « غرفة التكاثف » (المترجم) .

*** عندما يحتوى الهواء على بعض ذرات الأتربة يحدث الترسب أولا على هذه الذرات ، وبذلك يختلط الأمر (المؤلف) .



شكل (٧ — ٢)

الطريقة التى قاس بها السير ج . ج . تمسون كتلة الكهرب ك . (ا) تسمح الزحزحة (أو الانحراف) تحت تأثير المجال الكربى بقياس قيمة $\frac{\text{ك}}{\text{ى}}$ ع٢ . (ب) تسمح الزحزحة (أو الانحراف) تحت تأثير المجال المغناطيسى بقياس قيمة $\frac{\text{ك}}{\text{ى ع}}$. وبالجمع بين النتيجتين يمكن استخراج قيمة $\frac{\text{ك}}{\text{ى}}$. (حـ) يسمح معدل تساقط النقط الصغيرة التى تتكون على إيونات الغاز بقياس ى . وواضح أنه بتعيين $\frac{\text{ك}}{\text{ى}}$ ثم ى يمكن حساب قيمة ك .

الذى هو نفس الشيء ، ولما كان حجم النقط يبلغ من الصغر القدر الذى يتعذر معه رؤيتها ، قرر تمسون أن يعين حجومها عن طريق سرعة تساقطها إلى القرص تحت فعل الجاذبية الأرضية ، فكلما صغر الحجم قلت سرعة الهبوط ، وهنالك قانون (أول من توصل إليه هو ستوكس) يعطى العلاقة القائمة بين سرعة الهبوط ونصف قطر النقطة المائية ودرجة لزوجة الهواء. وعندما استخدم تومسون هذه الطريقة ، وقسم الشحنة الكلية التى تجمعت فى الكشاف الكهربى على عدد النقط المتكونة ، وجد أن مقدار الشحنة التى تحملها كل نقطة هو ٤,٧٧ × ١٠^-١٠ وحدة كهربية ستاتيكية ، أى نفس القيمة التى وجدت فى حالة التحليل الكهربى للسوائل .

وهكذا استطاع تمسون أن يعين قيمة ك من قيمة النسبة $\frac{ك}{ى}$ التى قيست ، فوجدها ٠,٩ × ١٠^-٢٩ جرام ، أى أصغر بمقدار ١٨٤٠ مرة من قيمة كتلة ذرة الأيدروجين .

وتمخضت هذه النتيجة عن اكتشاف عظيم : فهناك جسيم أخف من أقل الذرات وزناً على الإطلاق بنحو ألفى مرة . واستنتج تمسون أنه بينما كانت أيونات فارادای هى الذرات الحاملة للشحنات الكهربية ، فإن الجسيمات التى تكون أشعة المهبط ما هى إلا نفس الشحنات وقد انطلقت حرة ، وأطلق عليها اسم الكهارب (الكترونات) . وصور تمسون الذرة على هيئة كرة بداخلها مادة ثقيلة مشحونة بالكهربية الموجبة مع عدد من الكهارب الصغيرة المنتشرة خلالها على غرار انتشار بذر البطيخة الأسود فى لحمها الأحمر ، وأعطتنا هذه الصورة على حد تعبيرنا « نموذجاً ساكناً » ، أى افترض أن الكهارب الموجودة داخل الذرة فى حالة من السكون فى أوضاعها المتزنة التى يحددها التعادل بين القوى الكهربية التى تعمل على تنافر الكهارب السالبة الشحنات وتجاذب هذه الكهارب مع النواة المشحونة بالكهربية الموجبة . وعندما تثار الذرة ، أى تصلها طاقة إضافية من الخارج ، افترض أن الكهارب الموجودة داخلها تتذبذب حول أوضاعها المتزنة ، وبذلك ترسل أمواجاً كهرمغناطيسية (ضوء) متنوعة الأطوال . ولقد أجريت حسابات مضنية من أجل الوصول إلى أى علاقة تربط تردد ذبذبات الكهارب المرتبة بأشكال عديدة مع ما يشاهد من خطوط الطيف المتباينة التى تعطيها المواد الكيموية المختلفة ،

ولكن لم تسفر هذه المحاولات كلها عن أى نتيجة ، وظلت المسألة كما هى من غير حل إلى حين ظهور « نموذج رذرفورد للذرة » .

الأشعة السينية الغامضة

ساعدت المصادفة على الوصول إلى كثير من الكشوف الهامة التى تمت فى نهاية القرن التاسع عشر وعملت على التحول السريع لعلم الفيزياء التقليدى القديم إلى الفيزياء الحديثة . ولكن تلك الكشوف كان من ورائها دائماً علماء لهم آراؤهم التقدمية ويتوافر لديهم الانتباه الكافى لملاحظة كل ما هو غير عادى ، وفى مقدورهم متابعة دراساتهم حتى تتكشف لهم الحقائق الهامة . ففى ١٠ من نوفمبر عام ١٨٩٥ كان عالم الفيزياء الألمانى فلهلم كونارد رونتجن— شكل (٧ — ٣) — يجرى بعض التجارب باستخدام أشعة المهبط فى أنبوبة كروكس ، فلاحظ أن إحدى الستائر الفوسفورية المشعة والموجودة لمحض المصادفة بالقرب من الجهاز على المنضدة كانت تومض ببريق ناصع كلما أمر التيار الكهربى خلال الأنبوبة . وعندماغطى رونتجن الأنبوبة بقطعة من الورق الأسود استمر بريق الستارة على حاله ، ولم يوقفه إلا لوح من المعدن . وعلى ذلك فقد كانت هنالك إشعاعات جديدة تنبعث من الأنبوبة وتستطيع المرور بسهولة خلال المواد المعتمة بالنسبة للضوء الطبيعى . وكانت أول صورة أخذها رونتجن باستخدام هذه الأشعة المكتشفة حديثاً والتى أطلق عليها اسم الأشعة السينية ، هى صورة يد زوجته ، وقد أظهرت بكل وضوح تركيب العظام و (دبلة) خطوبتها . ولقد دلت الدراسات التى أجريت بعد ذلك على أن تلك الأشعة النفاذة إنما تنبعث من الطرف البعيد لأنبوبة الزجاج عندما تقع عليه أشعة المهبط . ويمكن زيادة شدة الأشعة السينيةهذه عندما يوضع فى مسار أشعة المهبط لوح من المعدن الثقيل يعرف باسم « المهبط المضاد » — شكل (٧ — ٣) وقدر أن الأشعة السينية إنما تنجم عن ارتطام الكهارب التى تكون أشعة المهبط (ولعل القارئ يذكر أن الكهارب اكتشفها السير ج. ج . تمسون بعد ذلك بعامين) ، وهى تنطلق بسرعة فائقة وتصادمها

مع الهدف الموضوع فى طريقها . وعندما تقف الكهارب فجأة ويحال دون مضيها فى سبيلها تطلق طاقات حركتها على هيئة موجات كهرمغناطيسية عظيمة القصر ، على غرار أمواج الصوت التى تنجم عن تصادم رصاص البنادق مع لوح من الألواح المخصصة لضرب النار . وكما يحتوى الصوت المنبعث فى حالات إطلاق النار على شتى أنواع الذبذبات الممكنة ، ونصفه على أنه « ضوضاء » أكثر منه نغمة موسيقية نقية ، فإن الأشعة السينية تمثل كذلك خليطاً لا ينقطع من أطوال الموجات المختلفة ، ويطلق عليها الألمان اسم (برمسستراهلنج Bremsstrahlung) ، حيث تعنى كلمة (برمس) يفرمل ، أما (ستراهلنج) فمعناها أشعة ، ويستخدم هذا اللفظ كغيره من كثير من الألفاظ الألمانية ، فى اللغة الإنجليزية (وليس من شك أنه يبدو غريباً عندما يقال أشعة مفرملة) .

شكل (٧ – ٣)

ماكس فون لاو (إلى اليسار) وفلهلم رونتجن

ولما لم يزحزح المجال المغناطيسى الأشعة السينية عن مسارها ، فقد افترض رونتجن منذ اللحظات الأولى أنها ذبذبات على غرار الضوء العادى . وإذا كان

الأمر كذلك فلابد أنها تخضع لظاهرة الحيود * ولهذا قضى رونتجن العديد من السنين محاولا إثبات ذلك عملياً ولكن دون جدوى. و بعد مضى اثنى عشر عاماً على هذا الاكتشاف الهائل وصلت رونتجن دعوة ، وقد كان أستاذاً للطبيعة التجريبية فى جامعة ميونخ ، من رجل فى مقتبل العمر (٣٣ سنة فى تلك الآونة) من علماء الفيزياء النظرية هو ماكس فون لاو من نفس الجامعة ليفحص بعض الصور الفوتوغرافية التى كان قد فرغ من أخذها المساعدان و . فريدريك ، و ب نيبنج . وعندما وقع عليها بصر الرجل لمس فى الحال أنها ضالته المنشودة التى ظل يبحث عنها سنين عديدة، هى صور الحيود الرائعة التى أحدثتها الأشعة السينية إثر مرورها فى بلورة (اللوحة رقم ٤ العليا) ، فقد خطرت ببال فون لاو فكرة استخدام إحدى البلورات كجهاز من أجهزة محزز القيود ** ، على أساس نظرى بحت . ولما كانت الأشعة السينية لا تعطى ظاهرة الحيود عندما تستخدم محززات القيود العادية التى تستخدم فى تجارب الضوء ؛ فمن اللازم أن تكون أطوال موجاتها قصيرة جداً . . وتتكون البلورة من طبقات منتظمة من الذرات أو الجزيئات تفصل بينها مسافات قدر كل منها ١٠$^{-٨}$ سنتيمتراً ، وعندما تسقط حزمة من الأشعة السينية على سطح بلورى فإنها تخترقه وتنفذ إلى أعماق كبيرة داخل البلورة ، إلا أنها تعانى انعكاساً جزئياً فى كل طبقة من طبقاتها إثر اختراقها لها ــ شكل (٧ ــ ٤) ــ فإذا ما كانت زاوية السقوط تبلغ القدر (ب) الذى معه تكون المويجات المرتدة فى نفس الطور ، فإن شدة إضاءة الحزمة المرتدة تزداد ، أما فى حالة الزاوية الأخرى (ا) عندما لا تكون المويجات المرتدة فى نفس الطور ، فيكون من المتوقع حدوث الظلام . وكما فى حالة حيود الضوء يمكن مشاهدة نموذج الحيود ، إما فى الحزمة المرتدة ، وإما فى الحزمة المرسلة . ويزيد من صعوبة الوضع حقيقة أن للبلورات عدة أنواع من الطبقات المتوازية المكونة من الجزيئات ، بحيث تبدو الصورة المتوقعة مركبة وأكثر تعقيداً من حالة الضوء العادى. وترينا اللوحة رقم (٤) المأخوذة فى معامل بل تليفون ، حيود الأشعة السينية فى سبيكة من النيكل والحديد .

* هو من ظواهر الضوء المعروفة عند مروره فى فتحة ضيقة . (المترجم) .

** ويقال كذلك محزوز القيود ، والحز هنا بمعنى الخط الرفيع المحفور فى الزجاج مثلا (المترجم)

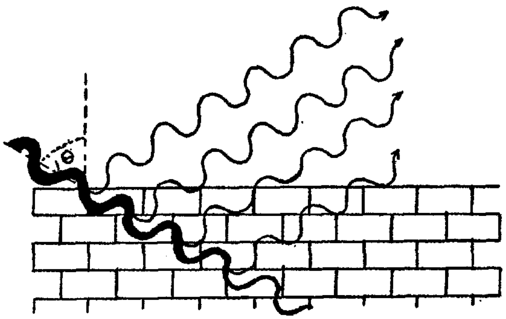
واكتشف بعد ذلك أنه بصرف النظر عن (البرمسستراهلنج) المستمرة — تحتوى الأشعة السينية كذلك على سلسلة من الخطوط الواضحة التى تحكى تماماً فى شكلها الطيف الضوئى ، ومصدرها مرور الكهارب فى أعماق الذرة . ولقد أجرى و . براج (الأب) ، ثم و . ى. براج (الابن) أبحاثاً مستفيضة على الأشعة السينية ، وعلى يديهما تم الوصول إلى الطرق الدقيقة المستخدمة فى دراسات طيف الأشعة السينية .

النظائر *

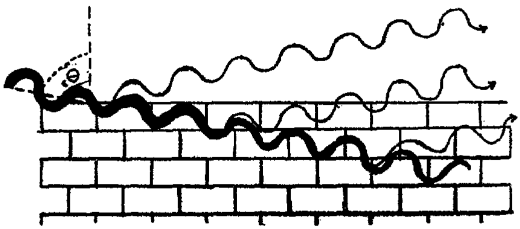
فى أوائل القرن التاسع عشر كان أحد علماء الكيمياء البريطانيين وهو و . پروت متأثراً بظاهرة أن الأوزان الذرية للعناصر المختلفة عندما يعبر عنها بدلالة الوزن الذرى للأيدروجين يمكن تمثيلها إلى درجة كبيرة من الدقة بأعداد صحيحة . ولقد ألهمته هذه المشاهدة إلى افتراض أن ذرات العناصر الكيموية المختلفة ما هى إلا تجمعات متباينة العدد من ذرة الأيدروجين (أو الأيدروجينات) . فمثلا الهيليوم = ٤ أيدروجينات ، الكربون = ١٢ أيدروجينات ، والأوكسيجين = ١٦ أيدروجينات وهلمجرا . . ولكن الذين عاصروا پروت لم يقاسموه آراءه ، وأسرعوا إلى إظهار بعض الحقائق التى ناقضت فروضه الجريئة ؛ فمثلا وجد أن الوزن الذرى لكل من الكلور والكدميوم هو على الترتيب ٣٥,٤٥٧ و ١١٢,٤١ ، أى فى منتصف المسافة بين عددين صحيحين . والعناصر التى لها أوزان ذرية قريبة من العدد الصحيح وجد كذلك أن قيم أوزان ذراتها دائماً تقل عما يتوقع لها لو أن ذراتها تكونت من مجموعات ذرة الأيدروجين . ولما كان الوزن الذرى للأيدروجين يساوى ١,٠٠٨٠ ** ، فمن اللازم أن يكون الوزن الذرى للهيليوم مساو يا ٤ × ١,٠٠٨٠ = ٤,٠٣٢٠ فى حين أنه يساوى بالفعل ٤,٠٠٣ أى أقل بمقدار ٠,٨ ٪ . وكذلك عندما نضع اثنى عشر من الأيدروجينات معاً فإنها تزن ١٢×١,٠٠٨٠=١٢,٠٩٦ ، فى حين وزن الكربون الذرى كما نعينه بالوسائل الكيميائية هو ١٢,٠١٠ فقط . وينجم عن

* ويمكن أن تسمى كذلك التوائم لأنها تؤدى نفس المعنى (المترجم) .

** يضبط علماء الكيمياء الوزن الذرى بحيث يكون الوزن الذرى للأكسجين مساوياً ١٦٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ (المؤلف) .



ا



ب

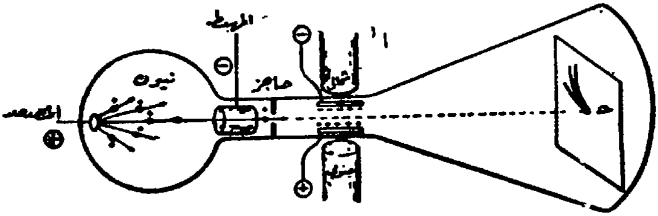
شكل (٧ – ٤)

ارتداد الأشعة السينية أو موجات دى برولى من سطح بلورة . فى (ا) تكون المويجات المنعكسة من الطبقات المتتابعة للبلورة (ممثلة على هيئة لبنات) مختلفة الطور ويلغى بعضها بعضاً . وفى (ب) تكون المويجات متحدة فى الطور وبذلك تزداد شدتها .

هذه الخلافات « الظاهرية » رفض افتراضات پروت ، وبذلك راحت فى النسيان زهاء نصف قرن كامل حتى عادت للظهور مظفرة عام ١٩٠٧ نتيجة لدراسات ج . ج . تمسون .

فبعد أن فرغ ج . ج . من إثبات وجود الكهرب ، وعين كتلته ومقدار ما يحمل من شحنة كهربية عن طريق إزاحة حزم الكهارب فى المجالات الكهربية والمغناطيسية ، عمد الرجل إلى الاهتمام بالجسيمات التى تتحرك فى الاتجاه المضاد خلال أنابيب التفريغ الكهربى . ولقد كانت الحزم المكونة من هذه الجسيمات المشحونة بالكهربا الموجبة تعرف باسم « أشعة القناة » نظراً لأنها شوهدت أول مرة

عن طريق حفر ثقوب (قنوات) فى قرص المهبط سمحت للجسيمات بالمرور خلالها إلى الحيز الذى من خلفه . ويمثل شكل (٧ — ٥) الجهاز الذى استخدمه تمسون لدراسة أشعة القناة ، وهو يعمل بنفس المبدأ الذى استخدمه فى دراسة حزم الكهارب . وتمر الجسيمات المشحونة بالكهربية ، المتولدة بالتفريغ الكهربى خلال



شكل (٧ — ٥)

جهاز تمسون لدراسة أشعة القناة . تمر الايونات الموجبة الشحنة والمنطلقة من المصعد إلى المهبط خلال قنوات فى المهبط ، وبعد نفاذها من حاجز معين تدخل منطقة المجالين الكهربى والمغناطيسى اللذين يأخذان نفس الاتجاه . ولما كانت الإزاحة المغناطيسية (فى الاتجاه الأفقى) تتوقف على سرعة الجسيمات ، على حين تتوقف الإزاحة الكهربية (فى الاتجاه الرأسى) على مربع السرعة ، فإن الجسيمات التى لها نفس الكتلة عند ما تتحرك بسرعات مختلفة توزع على طول قطع مكافىء على الحاجز ح .

الغاز بين المصعد والمهبط ، فى ثقب (قناة) محفور فى المهبط ثم تدخل منطقة المجالين الكهربى والمغناطيسى وهما يأخذان نفس الاتجاه . وكما قدمنا تتناسب الإزاحة الرأسية التى يسببها المجال المغناطيسى مع $\frac{ى}{ك}ع^{2}$ ، بينما تتناسب الإزاحة الأفقية الناجمة عن المجال المغناطيسى مع $\frac{ى}{ك}ع$. وعلى ذلك فالجسيمات المتساوية النسبة بين الشحنة والكتلة والمختلفة السرعة تكون إزاحتها فى الاتجاه الرأسى متناسبة مع مربع الإزاحات فى الاتجاه الأفقى ، وتصير المنحنيات التى تشاهد على الحاجز المشع (مفسفر) ح قطاعات مكافئة .

وهذا عين ما شاهده ج . ج . ، ولكن بدلا من أن يتكون قطع واحد مكافىء (لأى عنصر كيموى معين) تكوّن اثنان أو ثلاثة ، مما دل على وجود ذرات مختلفة الكتلة . ففى حالة الكلور مثلا تكوّن قطع مكافىء لذرات الكلور التى كتلتها ٣٤,٩٨ ، كما تكون قطع آخر لذرات الكلور التى كتلة واحدة منها ٣٦,٩٨ ؛

وكلا الرقمين قريب من العدد الصحيح . وأطلق اسم « النظائر » على ذرات العنصر الواحد التى لها أوزان ذرية مختلفة ، ومعنى النظائر أنها تحتل نفس المكان فى جدول مندليف . ولقد وجد أن العدد النسبي لذرات الكلور لهذين الوزنين المختلفين (كما قدر من إظلام اللوح الفوتوغرافى) هو ٧٥,٤ ٪ و ٢٤,٦ ٪ على الترتيب . وعلى ذلك يكون متوسط الوزن الذرى هو ٣٤,٩٨ × ٠,٧٥٤ + ٣٦,٩٨ × ٠,٩٤٦ = ٣٥,٤٥٧ ، وهو ينطبق تماماً مع قيمة الوزن الذرى للكلور الذى تم تعيينه كيمويًّا . ولقد دلت الدراسات التى تمت بعد ذلك على يد ف . و . استون على أن نفس هذه النتيجة تنطبق على العناصر الأخرى الكيموية . فمثلا يتكون الكدميوم من ثمانية أنواع مختلفة من الذرات التى تساوى أوزانها ١٠٦ ، ١٠٨ ، ١١٠ ، ١١١ ، ١١٢ ، ١١٣ ، ١١٤ ، ١١٦ ، والمقادير النسبية ١,٤ ، ١,٠ ، ١٢,٨ ، ١٣,٠ ، ٢٤,٢ ، ١٢,٣ ، ٢٨,٠ ، ٧,٣ ٪ ، ومتوسط الوزن الذرى هو ١١٢, ٤١ يتفق تماماً مع القياسات الكيموية . وهكذا عادت فكرة پروت القديمة للظهور من جديد .

ولكن بالرغم من اكتشاف النظائر فإن بعض المفارقات ظلت باقية ، وذلك نظراً لأن الوزنين الذريين لزوج من نظائر الكلور يساويان ٣٤,٩٨ ، ٣٦,٩٨ على وجه التحقيق بدلا من ٣٥,٢٨٠ (= ١,٠٠٨ × ٣٥) و ٣٧,٢٩٦ (٣٧ × ١,٠٠٨) . وعلى أية حال فقد أدت تلك المفارقات هذه المرة إلى الاغتباط بدلا من اعتبارها مشكلة ، وذلك لأنه تبعاً لقانون أينشتين الخاص بمعادلة الكتلة بالطاقة ، يلزم أن يكون وزن المجموعة المكونة من جسيمات متعددة أقل من وزن الجسيمات الأصلية بمقدار يعادل ما بينها من طاقات الترابط مقسومة على c^2 وعلى ذلك فإن الفرق بين كتلة ذرة مركبة ومجموع كتل مركباتها يدلنا على قيمة الطاقة التى تم تضمينها فى عملية التكوين . ولنضرب مثلا ذرة الكربون $_6$ك^{12} التى تحتوى على ٦ بروتونات و٦ نيوترونات . ولما كان الوزن الحقيقى لذرة الأيدروجين هو ١,٠٠٨١٣١ بينما وزن النيوترون ١,٠٠٨٩٤٥ فإن الكتلة الكلية يلزم أن تساوى ١,٠٠٠٨١٣١ +٦×١,٠٠٨٩٤٥ × ٦ = ١٢,١٠٢٤٥٦٠ . وتدل القياسات الدقيقة على أية حال على أن كتلة ذرة الكربون هى ١٢,٠٠٣٨٨٢ ، أى تقل عن القيمة السابقة بمقدار

٠,٠٩٨٥٤٦ وحدة . ويلزم أن يمثل هذا النقص الذى يطلق عليه اسم « عيب الكتلة » كتلة الطاقة المنطلقة فى تكوين نوى الكربون من النيوترونات والبروتونات . وتبعاً لنظرية أينشتين يعادل هذا القدر طاقة تساوى $٠,٠٩٨٦ \times ١,٦٦ \times ١٠^{-٢٤} \times ٩ \times ١٠^{٢٠} = ١,٤٨ \times ١٠^{-٤}$ إرج أو ٩٢,٥ ميف * .

نموذج رذرفورد الذرى

ولد أرنست رذرفورد – شكل (٧ – ١) – عام ١٨٧١ بالقرب من مدينة نلسن فى الجزيرة الجنوبية لينوزيلند (زيلندة الجديدة). وعندما مُنح بعد مضى سنين عديدة لقباً بريطانيّاً لشهرته العلمية صار اللورد رذرفورد من نلسن . وما إن بلغ الرابعة والعشرين حتّى وفد إلى كمبردج لتلقّى العلوم تحت إشراف ج . ج . تمسون فى معمل كافندش . وعين بعد تخرجه أستاذاً بجامعة ماكجل بمنتريال ، حيث ظهرت باكورة أعماله الهامة فى مجال دراسات ظاهرة النشاط الإشعاعى الذى كان قد اكتشف حديثاً آنئذ . وبعد ذلك انتقل إلى جامعة مانشستر ، وفى عام ١٩١٩ عندما تقاعد ج . ج . تمسون عن العمل ، أصبح مديراً لكافندش واشتهر بين من يعرفونه باسم « التمساح » ، الذى أسبغه عليه أحد طلبته المقربين ، وهو عالم الفيزياء الروسى بيتر كابتزا . ويجدر بنا أن نلاحظ أنه بينما تبدو هذه التسمية التهكمية بالنسبة إلى الإنجليز الذين كانوا يترددون (أو حتّى زاروا) على مصر وعضتهم أو أكلتهم التماسيح ** كأنها ماسة بالكرامة ، إذا هى بالنسبة إلى الروس الذين لا تتاح لهم رؤية التماسيح فى موطنها قط ، تبدو أو تُفهم كرمز للقوة العظمى . ورغم أنه لم يجرؤ أحد أن يذكر ذلك الاسم التهكمى فى حضور رذرفورد ، فإن الرجل كان يعرفه ، وكان يفخر به سرّاً . ويحمل جدار المبنى الجديد الذى شيد من أجل دراسات كابتزا على المجالات المغناطيسية البالغة القوة ، لسبب لم يعلن قط بصفة رسمية ، كتابة محفورة لتمساح ضخم .

---

* $١,٦٦ \times ١٠^{-٢٤}$ جرام هى $\frac{١}{١٦}$ من وزن ذرة الأكسجين (المؤلف) .

** هكذا تصور المؤلف ، وهو من علماء الفيزياء المعاصرين ، أن مصر موطن للتماسيح ! ولعل عذره فى ذلك أن اسمها يقرن باسم النيل (المترجم) .

وحديث أيام كافندش يذكر المؤلف بحادثة جرت فى كمبردج ولها علاقة بالتمساح » . . .

. . . ذلك البريطانى الملقب باللورد   عرفناه باسم أرنست رذرفورد

ابن فلاح من زيلندة الجديدة   وجميع خصاله حسنة حميدة

فصوته الرنان ، وصياحه فى العتاب   لا تقف فى سبيلهما أضخم الأبواب

وإذا ما استثير أو حدثت جريرة   نراه لكى ما يرضى ضميره

يوضحها تماماً بلغـة البلاد   ليفهمها كل رائح وغاد

وفى مرة نزل جاموف ضيف الشرف   على رذرفورد كما قال واعترف

فى حفلة شاى تكريماً لنيل بور   وطبعاً قد سمعت أنت عن هذا الأخير

وتحدث الرجال عن (الجولف) و (الكركت) كذلك

أما النساء فرحن يسألن كعادتهن هنـالك

عن (البلوزات) و(الشيلان) والأحزمه   حتى تضجر بور من ذلك الجووسئمه

وصاح : جاموف إنى أرى فى الشارع   (موتوسيكلك) فهل لديك من مانع

أن ننطلق لتفهمنى . . . كيف يسير؟   فليس هنا ما يسر أو يثير

ونحو (الموتوسيكل) راح يجرى بور   ومن خلفه جاموف على الفور

وإذ أتم شرح كل شيء بإسهاب   بينما كان يجلس بور على الركاب

إذا بهذا الأخير ينطلق مشـيرا   مخاوف الناس والدواب كثيرا

ورغم أنه بدأ مكتملا قوياًّ   فإنه سرعان ما فقد الروية

وعلى مسـافة خمسين ياردة   جعل من المحرك آلة هامدة

وبدأ يلف بعنف وبطء ملكه   فأوقف المرور فى شارع المملكه

وهب جاموف فى لحظته   ليقيم بورا من عـثرته

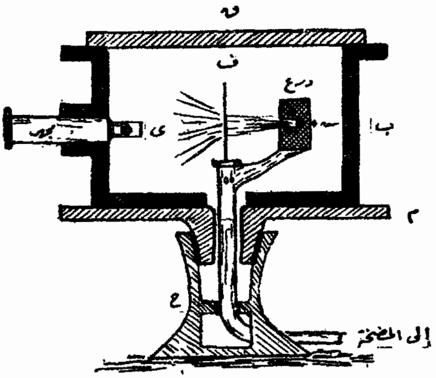
وتمنى الجميع حدوث معجزه   وصاح رذرفورد بجاموف يحذره :

إذا عدت يا جاموف مرة ثانية   إلى إعطاء بور هذه (الداهية)

لتوقف المرور أو تصدم الناس   فتالله لأفصلن جسدك عن الراس !

وعندما نعود إلى أيام رذرفورد فى منشستر نجد أنه لم يعجبه نموذج تمسون للذرة الذى جعله شبيهاً بالبطيخة ، وقرر أن يسير داخل الذرة بأن يطلق عليها أنواعاً جديدة

من القذائف كانت قد وقعت فى أيدى الفيزيائيين عقب اكتشاف النشاط الإشعاعى وخلال أيامه الأولى فى مكجل بيّن رذرفورد أن ما يطلق عليه اسم جسيمات الفا ، التى تشعها العناصر المختلفة ذات النشاط الإشعاعى ، ما هى فى الواقع إلا حزم من أيونات الهيليوم الموجبة الشحنة التى تنبثق مصحوبة بطاقة عظيمة من الذرات عديمة الاستقرار . وعندما تقع تحت تأثير الأجزاء المشحونة من الذرات ، يكون لا مناص

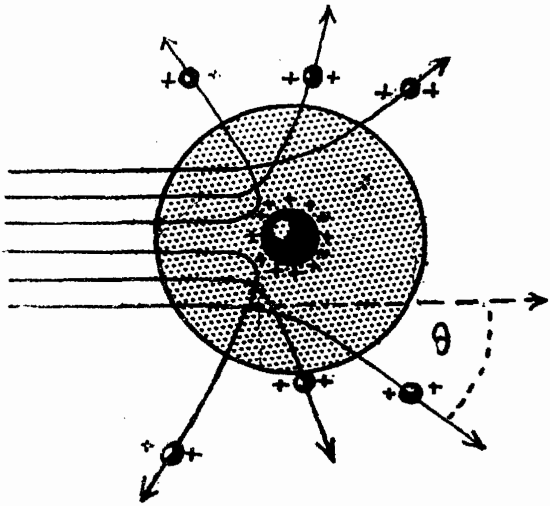


شكل (٧ – ٦)

أول جهاز لدراسة تشتت أشعة ألفا . صندوق مفرغ من الهواء ب مزود بقرص علوى ق يمكن إبعاده ، والصندوق موضوع فوق منضدة لفافة م . يوضع مصدر النشاط الإشعاعى ش داخل درع من الرصاص ، وتتصل الفتائل ف التى تعمل على التشتت بالحامل ح وتظل ساكنة ولا تتحرك. كما يتصل بالصندوق مجهر (ميكروسكوب) له حاجز يومض (ى) يمكن أن يدار حول محور أفقى .

من زحزحة جسيمات ألفا عن مسارها الأصلى ، بحيث تتضمن محصلة تشتت الحزمة بهذه الطريقة المعلومات الوافية الخاصة بتوزيع الشحنات الكهربية فى داخل الذرة . وعلى هذا الأساس أخذ رذرفورد يصوب حزماً من جسيمات ألفا على صفائح رقيقة جدًّا مصنوعة من معادن متباينة – شكل (٧ – ٦) – ويحسب عدد الجسيمات المتناثرة فى الاتجاهات المختلفة بعد مرورها خلال تلك الصفائح . وفى تلك الأيام كانت عمليات عد الجسيمات من أشق العمليات وأصعبها ، أما اليوم فإن المشتغل بالفيزياء يستطيع تركيب عداد چيجر لهذا الغرض ويخرج للنزهة أو إلى السينما . وكان على رذرفورد أن ينظر خلال مجهر أعده بحاجز يومض بضوء فسفورى يعترض

سبيل الحزمة ، ويعد على أصابعه عدد الومضات (البريق) ، أو الشرارات الصغيرة التى تحدث عندما يصدم جسيم له طاقة عالية تلك الستارة . ولقد اعتاد بعض علماء الفيزياء النووية فى تلك الآونة تعاطى البلادونا لكى تعمل على توسيع إنسان العين بدرجة أكبر . وكان من نتائج تلك الدراسات أن توصل رذرفورد إلى أن جسيمات ألفا بعد مرورها خلال صفائح رقيقة جداً من المعدن تعانى كثيراً من التشتت . وعلى الرغم من أن أغلب الجسيمات فى الحزمة الساقطة احتفظت باتجاه تحركها الأصلى ، فإن عدداً منها انحرف عدة درجات ، كما كاد بعضها يرتد إلى الخلف . ولم تتفق هذه النتيجة مع نماذج تمسون التى يفترض فيها توزيع الكتلة والشحنة الموجبة بانتظام تقريباً خلال جسم الذرة كله . وفى الحقيقة يلزم فى مثل



(شكل ٧ — ٧) النموذج النووى للذرة

هذه الحالة ألا يقوى التأثير المتبادل بين شحنة الجسيم المتساقط وشحنات الذرة الداخلية ولا يصل قط إلى الدرجة التى معها يزاح جسيم من جسيمات ألفا ، ويزحزح عن مساره الأصلى بزاوية كبيرة ، ولا سبيل إلى إمكان القذف به ورده إلى الخلف . وكان التفسير الوحيد الممكن هو تركيز الشحنة الموجبة وكتلة الذرة وقصرهما على حيز صغير جداً فى نقطة على وجه التقريب تقع تماماً فى المركز — شكل (٧ — ٧) — .

ولكي يتحقق من أن هذا الفرض إنما يطابق التشتت المرصود كان من اللازم صياغة معادلة تعتمد على قوانين الميكانيكا من أجل التعبير عن إزاحة الجسيمات التي تمر على أبعاد مختلفة من مركز التنافر. وعلى غرار كثير من كبار رجال الفيزياء التجريبية لم يكن رذرفورد يحب الرياضة، والذى يقال على أية حال إن الذى استنتج له تلك المعادلة هو أحد صغار المشتغلين بالرياضة المسمى ر. ﻫ فولر الذى تزوج فيما بعد بابنة رذرفورد. وتبعاً لمعادلة رذرفورد هذه يلزم تناسب عدد جسيمات ألفا المنحرفة بزاوية عن مسارها الأصلى تناسباً عكسياً مع الأس الرابع لقيمة جا $\frac{\theta}{c}$، وتتفق هذه النتيجة تماماً مع ما شاهد من منحنيات التشتت. وهكذا ظهرت صورة جديدة تماماً للذرة، مكونة من مركز صغير له كتلة مشحونة شحنة كبيرة، أطلق عليها رذرفورد اسم «نواة الذرة»، ومجموعة من الكهارب تسبح حول النواة تحت تأثير قوى تجاذب كولوم. وبدت هذه الصورة إلى حد كبير شبيهة بمجموعة كواكبنا السيارة * التي تسبح من حول الشمس، والتي تظل محتفظة بأفلاكها بقوى الجاذبية (النيوتونية). ولقد ثبت فيما بعد — على يد تلامذة رذرفورد من أمثال ﻫ. چيجر، وى. مارزدن — أن الشحنة الموجبة لنواة الذرة أو عدد الكهارب التي تسبح من حولها الذى هو نفس الشيء، يساوى الرقم الوضعى أو «الرقم الذرى» للعنصر حسب وروده فى جدول مندليف الدورى للعناصر. وهكذا ولدت الصورة الحالية لتركيب الذرة.

كارثة الأشعة فوق البنفسجية

عندما يعود بنا التاريخ إلى الماضى القريب، إلى السنين العشر الأخيرة من القرن التاسع عشر، عندما كانت الفيزياء تمر خلال آلام الانسلاخ من اليرقة القديمة التقليدية إلى الفراشة الحديثة، فى تلك الآونة كانت نظرية الحركة للحرارة متقدمة تماماً إثر أعمال بولتزمان، ومكسويل، وغيرهما، ولم يعد ثمة شك فى أن ما نطلق عليه اسم «الحرارة» ما هو إلا نتيجة حركة غير منتظمة حيثما اتفق لعدد لا يحصى من الجزيئات التي تكون جميع الأجسام المادية. وفى أبسط الحالات،

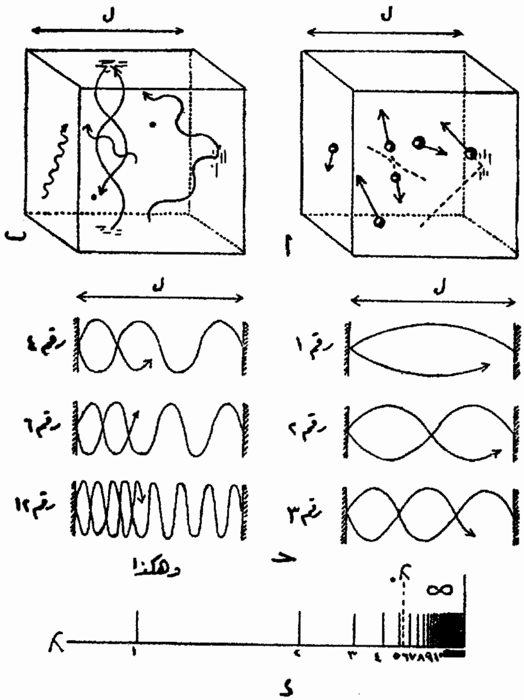
* ألا تطابق هذه الصورة قوله تعالى فى سورة الملك(٣): «ما ترى فى خلق الرحمن من تفاوت»؟ (المترجم)

وهى حالة الغازات التى تتطاير جزيئاتها من غير قيد أو شرط فى الحيز الذى تشغله ، يمكن استنتاج مصطلحات رياضية بسيطة ، من توزيع السرعة ، عدد مرات التصادم التى تحدث بين الجزيئات ، وغيرها من خصائص الجزىء التى تتميز بها الظواهر الحرارية . وفى تلك المرحلة قرر أحد علماء الفيزياء والفلك البريطانيين الذين ذاع صيتهم واشتهروا بتصنيف الكتب المبسطة للعامة ، وهو السير چيمس چينز ، استخدام الطرق الإحصائية التى ثبت نجاحها التام فى دراسة حركة الجزيئات الناجمة عن الحرارة ، فى المسألة الخاصة بالإشعاع الحرارى . ولقد رأينا فى الباب الرابع أن الأجسام الساخنة تشع طيفاً ضوئيا متصلا يحتوى على جميع الذبذبات بشتى أنواع التردد والموجات . ولقد رأينا كذلك أنه لكل درجة حرارة معينة يوجد نوع خاص من أنواع توزيع الطاقة المتوافرة بين أطوال الموجات المختلفة ، وأن طول الموجة التى تنتمى إلى أكبر كمية من الطاقة إنما يختلف باختلاف درجة الحرارة — شكل (٧ — ١٣) — وسأل چينز نفسه عما إذا كان توزيع الطاقة بين أطوال الموجات المختلفة فى حالة الإشعاع يخضع لنفس القوانين الإحصائية كما هى الحال فى توزيع الطاقة بين جزيئات الغاز . ولنأخذ مثلا ما يسمى «مكعب چينز» ، وهو صندوق مغطى من الداخل بوساطة « مرايا مثالية » أى مرايا تعكس ١٠٠٪ من الضوء الساقط عليها . وبطبيعة الحال تمتص أى مرآة فى الوجود بعض الضوء الذى يسقط عليها قبل أن ترده ، ولكننا نتحدث عن « تجربة فكرية » شبيهة بصندوق اينشتين فى حالة نظرية الجاذبية فى النسبية . ولنفترض أن صندوق چينز هذا له فتحة صغيرة وحاجز على جانبها يستعمل فى إغلاقها . ونحن نستطيع فتح الحاجز لندع بعض الضوء المقبل من مصباح يلج الصندوق ، ثم نعمد إلى حبس هذا القدر إغلاقها الفتحة بالحاجز مرة أخرى . ولما كان من المستحيل أن تمتص جدران الصندوق الضوء الداخلى فإنه بطبيعة الحال سوف يتعرض لعدد لا يحصى من عمليات الانعكاس ، بحيث إننا إذا أزلنا الحاجز عن الفتحة تدفق الضوء منبثقاً من الصندوق ، كما يتدفق الغاز من صمام عجلة السيارة المفتوح .

وفى شكل (٧ — ٨) مقارنة لطيفة بين وعائين ، أحدهما ملىء بجزيئات فى حركة حرارية ، والثانى ملىء بالإشعاع الحرارى مختلف أطوال الموجات . فى الحالة الأولى

تندفع الجزيئات إلى الفضاء فى شتى الاتجاهات الممكنة وبكل مقادير السرعة المحتملة ، نظراً لارتدادها من جدران الوعاء الذى يحويها ، وتصادمها أحياناً بعضها ببعض فى أثناء انطلاقها . أما فى الحالة الثانية فإننا نجد أن ما لدينا هو موجات ضوئية مختلفة الطول تنتشر فى كافة الاتجاهات الممكنة ، نظراً لانعكاسها من المرايا التى تغطى الجدران .

والذى ينقصنا معرفته فى الصورة الثانية هو « التصادم بين الموجات » ؛ تلك الظاهرة التى من شأنها أن تسمح بتبادل الطاقة بينها . وليس من شك أن الصفة الأساسية لأى نوع من الموجات ، سواء أكانت أمواج البحر ، أم موجات الصوت



شكل (٧ — ٨)

مقارنة بين الحركة كيفما اتفق (جزافاً) لجزيئات غاز داخل وعاء مغلق (ا) والحركة (جزافاً) للموجات فى مكعب جينز (ب) . تمثل النقط السوداء فى (ب) جزيئات غبار الفحم الصغيرة التى تعمل بمثابة العميل الذى يبدل الطاقة بين الموجات . ويعرض الشكل (ح) طرقاً مختلفة للتذبذب فى مكعب جينز (حالة مبسطة ذات بعد واحد) ، بينما تعطينا (د) الطيف المقابل لهذه الذبذبات .

أم موجات الراديو والضوء ، هى أنها لا يؤثر بعضها فى بعض عندما تتقابل ، فأقواس الموج المنطلقة من سفينتين تنسابان جنباً إلى جنب ، وأمواج الصوت التى تحمل حديث العديد من الناس فى غرفة ما ، وأمواج الراديو المذاعة من محطتين فى نفس المدينة ، أو أى حزمتين من حزم الضوء المنبثقة من كشافين عندما تتقاطعان فى السماء ، نجدها كلها يمر بعضها ببعض كأنما هى أشباح خيرة من أشباح قصص العصور الوسطى . ولكى نزيل هذا النقص فى التشابه ، لنتصور أن بداخل مكعب چينز جسيمات قليلة من جزيئات غبار الفحم التى تستطيع امتصاص جانب من الطاقة التى لها طول موجة واحد ، لتعيدها على موجة لها طول آخر ، ولقد تخيرنا غبار الفحم بالذات ، للونه الأسود ، فمن المعلوم أن الأجسام السوداء (أو على الأصح الأجسام السوداء مثالياً التى تتمشى مع المرايا المثالية التى فى مكعب چنيز) ، فى مقدورها أن تمتص وتطلق الإشعاع على أية موجة أو طول موجة . ولقد أدخلت جزيئات غبار الفحم فى هذه التجربة الفكرية لمجرد أن تسمح بتبادل الطاقة بين ذبذبات الضوء الذى له موجات مختلفة الطول ، وفى مقدورها أن تقوم بهذه العملية من غير أن تسلب المجموعة شيئاً من طاقتها ، وذلك تبعاً لحجومها المتناهية فى الصغر ومن ثم صغر أشعتها الحرارية .

ولنبحث الآن عن طريقة توزيع الطاقة المتوفرة بين الذبذبات المتباينة التى يمكن أن توجد فى مكعب چينز . هنا تستخدم الفيزياء الإحصائية قاعدة واحدة أساسية تعرف باسم « قانون تساوى توزيع الطاقة » ويقول هذا القانون إنه إذا كان لدينا عدد كبير جداً من الأجهزة (التى على غرار أفراد جزيئات الغاز) يؤثر بعضها فى بعض تأثيراً إحصائياً ، فإن الطاقة المتوافرة تكون فى المتوسط موزعة بالتساوى بينها . فإذا ما كان العدد الكلى لجزيئات الغاز الموجود بالوعاء هو د ، وكانت الطاقة المتوافرة هى ق فإن متوسط ما ينال الجزىء الواحد منها هو :

$$ى = \frac{ق}{د}$$

ومن اللازم أن يستخدم نفس هذا القانون البسيط لمجموعة الموجات التى يمكن أن تواجد داخل مكعب چينز . ولكن السؤال هو : كم موجة منها يمكن أن تواجد ؟ ولتبسيط الوضع نأخذ فقط الموجات التى تنساب أفقياً بين جدارى

الصندوق الأيمن والأيسر – شكل (٧ – ٨ جـ) – فنجد أن الوضع يشابه وضع وتر (الكمان) المثبت من طرفيه (قارن ذلك بأعمال فيثاغورث المشروحة فى الباب الأول) . فأطول الأمواج الممكنة هى رقم (١) ، حيث يبلغ طول الموجة ضعف المسافة ل التى بين الجدارين . ويليها فى القصر رقم (٢) ، التى يساوى طول موجتها ل ، أو ٢ل/٢ الذى هو نفس الشىء يلى ذلك فى القصر الموجة التى طولها ٢ل/٣ ، ثم ٢ل/٤ (أو ل/٢) ثم ٢ل/٦ (أو ل/٣) ... ، ٢ل/١٠٠ ، ٢ل/١٠١ ... ٢ل/١٠٠٠٠٠٠ .... بحيث لا يوجد حد أدنى للأمواج الكهرمغناطيسية الممكنة . و بأكمال المتسلسلة السابقة نمر عبر الضوء المرئى ، فالأشعة فوق البنفسجية ، فالأشعة السينية ، فأشعة جاما وهلم جراً . وعلى ذلك فإن عدد الذبذبات الممكنة يمتد إلى ما لا نهاية . وعندما نعم هذه القاعدة لتشمل جميع الموجات التى تنتشر فى الاتجاهات الثلاثة نحصل بالطبع على نفس النتيجة . وإذاً فنحن عندما نستخدم قانون تساوى توزيع الطاقة التقليدى القديم ، ونقسم الطاقة الموجودة فعلا على جميع الأمواج المحتملة ، بصرف النظر عن مبلغ هذه الطاقة من الكبر ، نحصل على .

$$ى = \frac{ق}{\infty} = \text{صفر} .$$

ومن وجهة نظر الفيزياء يعنى ذلك أننا إذا قسمنا كل أطوال الأمواج الممكنة المبينة فى شكل (٧ – ٨ د) إلى مجموعتين بخط رأسى هو λ_o * فإننا نحصل دائماً على عدد محدود من الذبذبات المحتمل وجودها على يمين λ_o ، ولكن على عدد لا نهائى بين λ_o ونقطة الصفر . ويتطلب مبدأ تساوى التوزيع ضرورة إعطاء كل الطاقة المتوافرة لدينا إلى الذبذبات التى لها أطوال موجات أقل من λ_o ، بصرف النظر عن مبلغ λ_o من الصفر . وعلى ذلك إذا ملأنا مكعب جينز بالضوء الأحمر ، فإن هذا الضوء سوف يبدأ فى التحول (عن طريق الامتصاص وإعادة الإشعاع بوساطة غبار الفحم) إلى أشعة فوق بنفسجية ، وأشعة سينية ، وأشعة جاما

---

* يستخدم الحرف الإغريقى λ فى جميع الكتب العلمية للدلالة على طول الموجة (المترجم) .

وهلم جرا . . . وما يسرى على مكعب جينز الافتراضى يجب أن يسرى على غيره كذلك بصفة عامة ، بحيث إننا إذا فتحنا مثلا باب فرن المطبخ أو طاقة فى فرن القاطرة فإننا سوف نتعرض إلى أشعة قصيرة فتاكة تقتلنا حيث نحن فى الحال * . ومجمل القول من غير شك أن هذا ليس صحيحاً ، ولكنه ينجم عن استخدامنا قوانين الفيزياء التقليدية القديمة ، تلك القوانين التى تعتبر بمثابة الأساس أو الدعامة التى شيد عليها صرح الفيزياء القديمة .

ومضت أعوام بعد أن نشر جينز ورقته ، ولم يستطع هو ولا أى شخص آخر الوصول إلى تفسير هذه المفصلة ، وأخيراً فى الأسبوع الأخير من آخر عام من أعوام القرن الماضى تقدم عالم من علماء الفيزياء الألمان هو ماكس بلانك — شكل (٧ — ٩) — إلى السبورة فى اجتماع عيد الميلاد الخاص بالمجمع الألمانى بعلوم الفيزياء وأعلن عن رأى خارق لما هو معتاد ، فحواه أن الضوء وجميع أنواع الإشعاع الكهرمغناطيسى ، التى كانت تعتبر بمثابة الموجات المتتابعة بصفة مستمرة ، ما هى فى الواقع إلا حزم منفردة من الطاقة ، لكل حزمة منها قدر معلوم من هذه الطاقة . وتتوقف قيمة الطاقة التى تصاحب كل حزمة على الذبذبة التى تتردد بها ، بحيث تتناسب معها تناسباً طردياً ، طبقاً للمعادلة :

ى = هـ

حيث هـ ثابت عالمى . وأطلق بلانك على حزم الطاقة هذه اسم « مجموعة الكم الضوئية (أو على وجه عام : الكم الإشعاعية) ، ويعرف الثابت ф باسم ثابت الكم ** .

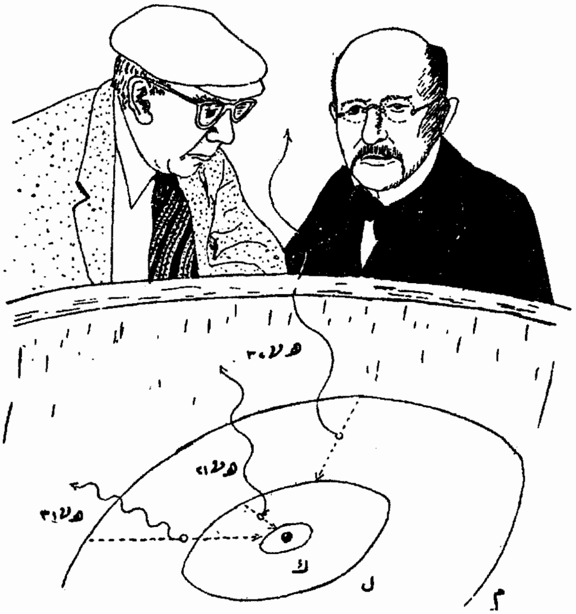
والآن كيف تخلصنا هذه الفكرة الثورية من خطر كارثة الأشعة فوق البنفسجية لجينز ؟ لكى نشرح للقارئ الطريقة باختصار نأخذ حالة رجل مات عن تركة قدرها ٦٠٠ دولار ، وليس له من وريث اللهم غير خمسة ممن لهم حساب : صاحب بار ، وجزار ، وصيدلى ، وبقال ، وخياط ، ويرغب كل منهم فى استرداد ما له من نقود ، إلا أن الدين الكلى يزيد كثيراً على النقود الموجودة . من الحلول

---

* هذا هو السر فى اختيار اسم (كارثة الأشعة فوق البنفسجية) (المترجم) .

** من الجائز أن تستخدم بعض الكتب العربية نفس اللفظ الإفرنجى وهو (كوانتم) Quantum بدلا من كلمة كم العربية (المترجم) .

البسيطة لهذه المسألة أن نستخدم « قانون تساوى التوزيع » ، وبذلك نعطى كل فرد منهم ١٠٠ دولار . ولكن الأمر يتعقد باتباع المبدأ القائل بأن كل من الدائنين يجب أن يأخذ فقط كل ما له من نقود ، أو لا يأخذ شيئاً بتاتاً . فصاحب البار يريد أخذ كل دينه البالغ ٦٠٠ دولار ، ويطالب كل من الجزار والصيدلى بمبلغ ٣٠٠ دولار بينما يريد البقال ٢٠٠ دولار والخياط ١٠٠ دولار . ونظراً لعدم وجود المال الكافى لتسديد جميع هذه الديون ، يكون على القاضى أن يلجأ إلى ما يعرف بين المحامين باسم « الإنصاف » أى الحل القائم على المنطق . ومن الجلى والواضح أنه من غير المعقول أن يعطى صاحب البار كل الستمائة دولار ، ويحرم باقى الدائنين من أى مبلغ بتاتاً . وثمة حل آخر أكثر اعتدالا ألا وهو أن يصرف نقوداً أكثر من أجل إرضاء الدائنين الذين لهم مطالب متواضعة ، ويرفض الصرف للمتزمتين أو المغالين فى طلباتهم ، وبذلك يمكن مثلا إعطاء الخياط ١٠٠ دولار ، والبقال ٢٠٠ دولار ، وأى من الجزار أو الصيدلى ٣٠٠ دولار ، (بالاقتراع باستخدام قطعة



شكل (٧ — ٩)

نيل بور (إلى اليسار) مع ماكس بلانك ، وانتقالات الكم فى ذرة الإيدروجين

من النقود) ، ولا يعطى شيئاً لصاحب البار (وتلاحظ هنا أن هذا المبدأ الذى اتبعناه فى تقسيم النقود إنما يستخدم بالفعل بوساطة مؤسسة العلوم الأهلية ، التى لا تمتلك إلا النذر اليسير من النقود وتحاول توزيعه بالإنصاف أو بالاعتدال بين مختلف الباحثين عن العقود) . ومن الأمور المشكوك فيها أن يعطينا التساوى فى التوزيع حلا فريداً لا يضاهيه حل لمثل هذا النوع من المسائل ، ولكن الفيزياء الإحصائية يمكن أن توفر لنا مثل ذلك الحل . فبمجرد أن أدخلت افتراضات بلانك المتعلقة بالنهاية الدنيا للطاقة على الكم الضوئية التى لها أطوال موجات مختلفة ، ظهرت قوانين الإحصاء الرياضى الدقيقة ، وقد تخلصت من كثير من الذبذبات القصيرة الموجات لأية طاقة كانت ، وذلك بسبب مستلزماتها العزيزة المنال إلى درجة غير معقولة . ونتيجة لذلك حصلنا على معادلة لتوزيع الطاقة فى الإشعاع الحرارى تقصر أغلب الطاقة على طول الموجة المتوسطة ، فى حين جعلت المغالاة فى المطالب التى تستلزمها ذبذبات الموجات القصيرة نصيب هذه الموجات من تلك الطاقة النزر اليسير أو لا شىء فى المعادلة .

ولقد حدث توافق تام بين المعادلة التى صاغها بلانك على أساس فروض الكم الضوئى وكافة قوانين الإشعاع المعروفة ، إلا أنه نجم عن إدخال فكرة حزم الطاقة المنفردة على الصورة القديمة التقليدية لانتشار موجات الضوء ثورة فى الآراء لا يمكن مقارنتها إلا بتلك التى نجمت عن تجربة ميكلسون ومورلى .

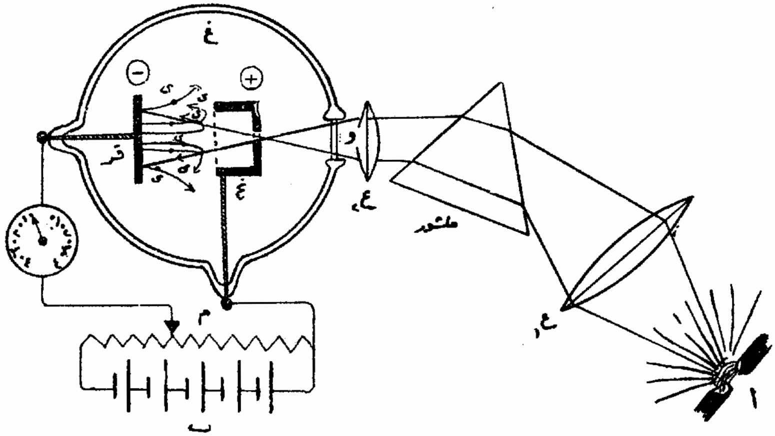
حقيقة مجموعات الكم الضوئية

فى الوقت الذى فيه بدت فكرة بلانك الأصلية بخصوص حزم طاقة الإشعاع غير واضحة المعالم تماماً ، واقتصر استعمالها على اتخاذها كأساس لتوزيع الطاقة توزيعاً إحصائياً بين أمواج الطيف المختلفة ، بدأت معالم الفكرة فى الظهور والتبلور بعد ذلك بسنوات خمس على يد ألبرت اينشتين فى بحث من ثلاثة بحوث نشرها عام ١٩٠٥ *.

* البحثان الآخران كما ذكرنا قبل ذلك عن الحركة البراونية ثم عن النسبية (المؤلف) .

وقد استخدم اينشتين فكرة الكم الضوئى فى تفسير ما يسمى بالظاهرة (الكهرضوئية) ، إذ كان من المعروف خلال فترة طويلة من الزمان أن الضوء (وعلى الأخص الطاقة فوق البنفسجية) عندما يتساقط على أسطح المعادن يسبغ عليها شحنة كهربية موجبة . وبعد اكتشاف الكهارب أمكن البرهنة على أن علة هذه الظاهرة هى انطلاق الكهارب من الأسطح المضاءة .

ويبين شكل (٧ — ١٠) أجزاء الجهاز القياسى المستخدم فى دراسة ظاهرة الكهرضوئية ، إذ يمر الضوء المنطلق من القوس الكهربية ا والذى يحتوى على مقدار وفير من الأشعة فوق (البنفسجية) خلال مجموعة مكونة من عدستين من الكوارتز ومنشور يفصل الأمواج المختلف بعضها عن بعض (لاستخدام جزء من الطيف أو حزمة لها لون بالذات) . وتدخل الحزمة التى يقع عليها الاختيار (والتى يمكن تغييرها بإدارة المنشور) من نافذة من الكوارتز ، وإلى أنبوبة مفرغة غ ، ثم يمر خلال ثقب فى أسفل أسطوانة من النحاس نح ، ليسقط على قرص معدنى قر يمكن أن يصنع من معادن متباينة . ويستخدم فرق جهد كهربى متغير بين القرص والاسطوانة من أجل إبطاء سرعة تحرك الكهارب الضوئية المنطلقة (تؤخذ القوى الكهربية من البطارية ب والمقاومة المتغيرة م ، على حين يقاس التيار الكهربى باستخدام الجلفانومتر جـ) .



شكل (٧ — ١٠)

الأعداد الدراسية ظاهرة الكهرضوئية . توقف حركة الكهارب الضوئية المرسلة من القرص (قر) نحو الأسطوانة (نخ) تحت تأثير المجال الكهربى إذا كان فرق الجهد بين (قر) و (نح) يبلغ من الكبر القدر الكافى .

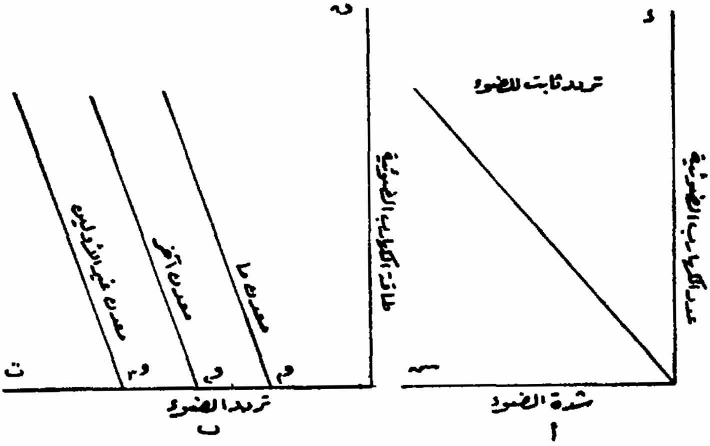
وعندما يساوى حاصل ضرب الجهد الكهربى المستخدم فى شحنة الكهارب مع طاقة حركتها يقف التيار الكهربى فى الدائرة . وعلى ذلك فيمكن عن طريق تغيير شدة التيار ،وطول موجة الضوء الساقط ،وقياس الجهد الذى عنده يقف التيار ،نقول يمكن تعيين العلاقة التى تربط شدة الضوء وكميته وسرعة الكهارب الضوئية . ولقد تمخضت الدراسات المعملية لظاهرة الكهرضوئية عن قانونين هامين هما :

١ – لأى ذبذبة معلومة للضوء المتساقط لا تتغير طاقة الكهارب الضوئية ، ولكن يزداد عددها متناسباً تناسباً طردياً مع شدة الضوء .

٢ – عندما تتغير ذبذبة الضوء المتساقط (بالزيادة) لا تنطلق أية كهارب حتى يتم الحصول على ذبذبة معينة ابتدائية (تتوقف على المعدن) . وعندما يزداد التردد بعد ذلك تزداد طاقة الكهارب الضوئية متناسبة طردياً مع فرق الذبذبة المستخدمة والذبذبة الابتدائية .

ويوضح (شكل ٧ – ١١) هذين القانونين باستخدام الرسم البيانى . ومهما يكن من شىء فإنه رغم بساطتهما التامة لم يتفق منطوقهما ولم يتمش مع ما تكهنت به نظرية الضوء الكهرمغناطيسية التقليدية . فتبعاً لتلك النظرية تعنى الزيادة فى شدة الضوء ازدياد قيمة القوة الكهربية المترددة فى الموجة . وعندما تؤثر هذه القوة الكهربية الأكثر شدة فى الكهارب القريبة من سطح المعدن (هى الكهارب التى تحمل التيار الكهربى فى الأسلاك المعدنية) ،نجدها تقذف بها إلى الخارج بطاقة حركة أكبر . ولكن التجربة دلت على أنه حتى إذا ازدادت شدة الضوء مائة ضعف تنبثق الكهارب الضوئية بنفس السرعة . ومن ناحية أخرى يبين المنحنى المرسوم فى شكل (٧ – ١١) علاقة واضحة تماماً بين سرعة الكهارب (أو طاقات حركتها) وتردد الضوء الساقط ، وهى علاقة يتضح منها عدم صلاحية نظرية الضوء الكهرمغناطيسية القديمة .

وعندما نستخدم فكرة مجموعات كم الضوء التى تحمل بين طياتها مقادير معينة من الطاقات التى تتناسب مع ترددها ، يمكن على كل حال الوصول إلى تفسير قانونين من قوانين الفيزياء التجريبية ، وذلك بطريقة طبيعية تماماً . فعندما يرتطم كم ضوئى ساقط بسطح معدن ما ويؤثر فى أحد الكهارب ، يتحتم على الكم أن يوصل أو ينقل إلى هذا الكهرب كل طاقته ، وذلك لأنه لا توجد طاقة تقل عن



شكل (٧ — ١١)

القوانين الخاصة بالظاهرة الكهرضوئية والتى وجدت بالتجربة . (ا) توقف عدد الكهارب الضوئية على شدة الضوء . (ب) توقف طاقة الكهارب الضوئية على تردد الضوء .

كم واحد . وعلى ذلك فإن القيم المتزايدة من طاقة الضوء المتساقط إنما تعنى المزيد من عناصر الكم الضوئى التى لها نفس التردد ، ومن ثم المزيد بنفس النسبة من الكهارب التى لها نفس طاقة الحركة . وعندما تزداد ذبذبات الضوء الساقط يختلف الوضع : فإن كل كم ضوئى تصبح له فى هذه الحالة طاقة أكبر . وعندما يعطيها لأحد الكهارب يقذف به إلى خارج المعدن بسرعة أكبر . وعندما يمر الكهرب على سطح المعدن يفقد جانباً من الطاقة التى أخذها من كم الضوء . وتتوقف هذه الكمية من الطاقة على طبيعة المعدن ، وتعرف باسم (دالة الشغل) ، وهو اسم غير لائق تماماً . وعلى ذلك فإن طاقة الكهرب الضوئى تعطيه قاعدة بسيطة جداً هى :

$$ى = ه \gamma - ش ،$$

حيث ش هى دالة الشغل للمعدن المستعمل . وما دامت ه γ أقل من ش (أو ى أقل من الصفر) فلا تكتسب الكهارب طاقة كافية من أسراب الكم الضوئى تمكنها من عبور السطح ، وبذلك لا يحدث شيء . ولكن بمجرد أن تصبح ه γ أكبر من ش ، تبدأ عملية انطلاق الكهارب تحت وطأة الضوء المتساقط ، وتزداد طاقة الكهارب متناسبة طردياً مع γ . ومن اللازم أن يكون ميل المنحنى الذى فى

شكل (٧ — ١١ ب) مساوياً لثابت الكم هـ ، وهذه هي الحقيقة . وعلى ذلك فبضربة واحدة فسر أينشتين قوانين الظاهرة الكهرمغناطيسية الغامضة ، وأعطى بذلك سنداً قويّاً لفكرة بلانك الأصلية المتعلقة بأفراد كم الطاقة الإشعاعية .

ومن بين القرائن الهامة التي أيدت فروض الكم الضوئي ، تلك الفروض التي كانت آنئذ في مرتبة تسمح بأن نطلق عليها اسم نظرية ، ما ورد ضمن أعمال عالم الفيزياء الأمريكي « آرثر كمتن » من لاعبي « الجيتار » المعروف في جزر هاواي ، ومن أبطال لعبة التنس وعظماء الذين بحثوا في طبيعة الأشعة الكونية . ولقد أكسبته هذه الدراسات الأخيرة شهرة أنه أقوى رجل في المكسيك بأسرها . وكانت الظروف التي عاش فيها كمتن كما قصها بنفسه على مؤلف هذا الكتاب على النحو الآتي : كان على كمتن — وهو يدرس تغير شدة الأشعة الكونية من القطب إلى خط الاستواء — أن يعمل بعض قياسات على شدتها في مكان ما في جنوب المكسيك . وكان لابد من تخير موقع محطة الرصد بعيداً عن المدن حتى يمكن تلافي الاضطرابات والتقلبات التي تسببها خطوط القوى الكهربية والمواصلات إلخ . . . ولكنه في نفس الوقت يلزم أن يمد الموقع بما يفي الغرض من التيار الكهربي . ووقع الاختيار على دير للكاثوليك على مسافة ما جنوبي مدينة المكسيك ، وامتاز هذا المكان بالسكون ، وكان فيه محطة خاصة لتوليد الكهربا وبطاريات للشحن ، كما كان رئيس الدير يحب المعاونة في تقدم العلوم . ووصل كمتن محطة السكة الحديد القريبة من الدير ومعه نحو اثني عشر صندوقاً محملة بالعتاد العلمي ، وبدت صناديق الخشب في غاية النظافة ، وكان الواحد منها في حجم حقيبة (شنطة) الملابس المتوسطة وله يدان جميلتان من المعدن . واحتوى صندوقان من هذه المجموعة على أربعة من الكترومترات كهلراوش — كرات معدنية سوداء لها نوافذ صغيرة يشاهد منها سلك لتسجيل الشحنة الكهربية ، أما باقي الصناديق فكانت محملة بقوالب الرصاص التي تستخدم كدرع يقي من الإشعاع .

وجميع من زاروا المكسيك يعلمون تماماً أنه بمجرد الوصول إلى المحطة ، يحاط الركاب في الحال بجمع من الحفاة من الرجال والصبية وهم يصيحون Llevo su equipaje señor « الليفو سواكويباجي سنيور ؟ » ، ثم يسرعون إلى سحب حقائب

السفر من اليد . وفى تلك الحالة التقط كمتن الصندوقين المحتويين على الكترومترات كهلراوش Kohlrausch وأومأ للمكسيكيين لحمل الباقى. وحدث أن تتابع القوم على النحو الآتى : أمريكانو دستنجويدو Americano distinguido يسير ببطء على طول الرصيف وهو يهز بين يديه صندوقين من صناديق الأجهزة ، يتبعه صف من المكسيكيين يحمل كل اثنين منهم صندوقاً وقد انحنوا جميعاً تحت وطأة أوزانها . ولكن لم يكن ذلك هو نهاية القصة ، فعندما وصلت عربة النقل تحمل كمتن وصناديق أجهزته إلى أبواب الدير أوقفها جنديان من قوات المكسيك . وطلبا فحص الصناديق ، والمهم فى هذا الموضوع أنه فى تلك الآونة كانت حكومة المكسيك مشغولة بخلاف عظيم نشب بينها وبين الكنيسة الكاثوليكية ، مما أدى إلى وضع الحراس حول جميع المعاهد الكاثوليكية . وعندما فتح الجنديان الصناديق وجدا « أربع قنابل سوداء والوفير من الرصاص » وقد يكون الغرض الوحيد من هذا الأخير هو فى الأغلب عمل القذائف النارية (الرصاص) . وألقى القبض على كمتن ، وألزم بالانتظار ساعات عديدة فى مركز البوليس المحلى قبل أن تحل الاتصالات التليفونية البعيدة مع السفير الأمريكى فى مدينة مكسيكو هذا الإشكال. ولقد دلت القياسات على أن حدة الأشعة الكونية فى ذلك الدير تطابق تماماً ما كان منتظراً أو ما قدر بالحساب .

وعندما نعود إلى ذكر ظاهرة كمتن ، نجد أنه نظراً لما تميز به الرجل (كمتن) من المقدرة الفائقة على إجراء التجارب ، أراد أن يوضح التصادم بين وحدات الكم الضوئية والكهارب على فرض تشابهه بتصادم كرات العاج فى لعبة « البليارد » ، غير أنه بينما تتشابه تماماً جميع كرات البليارد (إلا من حيث اللون) يلزم أن نعتبر وحدات الكم الضوئية والكهارب مختلفة الكتلة . وقال كمتن إنه على الرغم من أن الكهارب التى تكون جهاز الكواكب فى الذرة تحتجزها نواة المركز بتأثير قوى التجاذب الكهربية ، فإن هذه الكهارب تبدو كأنما لها مطلق الحرية عندما تحمل وحدات الكم الضوئية التى ترتطم بها مقادير من الطاقة تبلغ من الكبر القدر الكافى . فلنفرض مثلا أن كرة سوداء (كهربا من الكهارب) تقف فى حالة من السكون على طاولة البليارد ويمسكها حبل متصل بمسمار مثبت فى سطح الطاولة ، فى حين يحاول أحد

اللاعبين ، وهو لا يبصر الحبل ، وضعها فى الجيب الجانبي عن طريق صدمها بكرة بيضاء (الكم الضوئى) . فإذا ما أرسل اللاعب كرته بسرعة صغيرة نسبيًّا فإن الحبل سوف يصدها لحظة التصادم وبذلك لا ينجم شيء عن هذه المحاولة . أما إذا ازدادت سرعة الكرة البيضاء بعض الشيء فربما ينقطع الحبل ، إلا أنه يسبب من الخلل والاضطراب ما يجعل الكرة السوداء تسير فى الاتجاه الخاطئ تماماً . ولكن على أية حال ، إذا كانت طاقة حركة الكرة البيضاء تزيد بنسبة كبيرة على متانة الحبل الذى يمسك الكرة السوداء ، فإن وجود الحبل سوف لا يؤدى إلى أثر يذكر ، وتكون نتيجة التصادم بين الكرتين شبيهة تماماً بما يحدث عندما تصبح الكرة السوداء غير مربوطة .

وكان كمتن يعرف أن الطاقة التى تمسك كهارب الذرة الخارجية يمكن مقارنتها مع طاقة كم الضوء المرئى ، وعلى ذلك فلكى يجعل التصادم يحدث بقوة تفوق حدود القوة المطلوبة تخير لإجراء تجربته وحدات الكم الغنية بالطاقة للأشعة السينية ذات التردد العالى . وليس من شك أن نتيجة التصادم بين كم الأشعة السينية والكهارب الحرة (تقريباً) يمكن أن تعالج بنفس الطريقة التى تعالج التصادم بين كرات البليارد . ففى حالة التصادم بمقدمة الكرة المتحركة نجد أن الكرة الساكنة (الكهرب) تندفع بسرعة كبيرة فى نفس اتجاه التصادم ، على حين تفقد الكرة الأولى (كم الأشعة السينية) جزءاً كبيراً من طاقتها . وإذا كان التصادم جانبيًّا فإن الكرة الساقطة تفقد كمية أقل من الطاقة كما تعانى قدراً أصغر من الانحراف عن خط سيرها الأصلى . أما إذا كان الذى يحدث هو مجرد التماس فإن الكرة الساقطة سوف تستمر فى سيرها دون انحراف يذكر على وجه التقريب . كما أنها لن تفقد إلا النزر اليسير من طاقتها الأصلية . ونحن عندما نعبر عن ذلك التصرف بلغة الكم الضوئى نقول : « فى عملية التشتت تكون لوحدات كم الأشعة السينية التى تنحرف بزوايا كبيرة كمية أصغر من الطاقة ، ومن ثم طول موجة أكبر » . ولقد أيدت التجارب التى أجراها كمتن تأييداً مفصلا ما تكهنت به الدراسات النظرية ، وبذلك أضافت عوناً جديداً ونصراً لفروض الكم الخاصة بطبيعة الطاقة الإشعاعية .

ذرة بور

فى عام ١٩١١ وصل مانشستر أحد الشبان الدانمركيين (٢٥ سنة) المشتغلين بالفيزياء هو نيل بور – شكل (٧ – ٩) – الذى استخدم فى أثناء دراساته فى جامعة كوبنهاجن خبرته كلاعب كرة يعرفه الشعب واستعان بها فى حلّ مسألة « تضليل » أشعة ألفا خلال أكداس الذرات التى تحاول صدها والوقوف فى سبيل تحركها . وفى ذلك الحين كان رذرفورد قد بدأ عهد إجراء تجاربه التى أدت إلى اكتشاف نواة الذرة ، وقد أعجبت بور آراء رذرفورد ، وقال هذا الأخير لصديق له : « إن هذا الدانمركى الصغير أذكى شخص قابلته فى حياتى » وهكذا أصبح الاثنان صديقين وظلا يتعاونان إلى النهاية .

ويكاد يكون من المستحيل وصف نيل بور لمن لم يعمل معه قط . ولعل أهم صفاته المميزة تفكيره البطىء وإدراكه الشامل . وفى أواخر العشرينات وأوائل الثلاثينات من هذا القرن ، عندما كان مؤلف هذا الكتاب واحداً من « أولاد بور » الذين يعملون فى معهده بكبنهاجن على زمالة كارلسبرج (أحسن بيرة فى العالم) ، أتيحت له فرص عديدة لمشاهدة خصاله ولمسها عن كثب ؛ فكم من مرة فى المساء عندما كانت حفنة من تلامذة بور الذين « يعملون » فى معهده بكبنهاجن تناقش آخر مسائل نظرية الكم ، أو تلعب تنس الطاولة على منضدة المكتبة وقد وضعت عليها أقداح القهوة للزيادة من صعوبة اللعبة ، كان بور يظهر شاكياً من فرط تعبه وإرهاقه ، ويبدى رغبته فى أن «يفعل شيئاً ما» . والمقصود من أن (يفعل شيئاً ما) كان يعنى لزاماً التوجه إلى دور السينما. وكان بور يحب من الأفلام السينمائية ما تسمى "The Gun Fight at the Lazy Gee Ranch or The Lone Ranger and a Sioux Girl." ولكن كان من الصعب الذهاب معه إلى السينما ، فهو لا يستطيع تتبع العرض ويظل يسألنا باستمرار ، مسبباً أكبر أنواع الانزعاج لباقى المتفرجين ، ومن أمثلة أسئلته : « هل هذه هى أخت راعى البقر الذى قتل الهندى الذى حاول سرقة قطيع الماشية الذى يمتلكه شقيق زوجها ؟ »

وكان هذا البطء نفسه فى التفكير يبدو واضحاً عليه فى الاجتماعات العلمية . فكم من مرة ألقى أحد الشبان المشتغلين بالفيزياء (كان أغلب زوار كبنهاجن الفيزيائيين من الشبان) حديثاً رائعاً عن حساباته الحديثة . . فى مسألة تتعلق بنظرية الكم . ورغم أن كل فرد من المستمعين يفهم تفاصيل المحاضرة تماماً ، إلا بور فإنه لا يفهمها كلها ، وعلى ذلك يبدأ كل شخص يوضح لبور النقط البسيطة التى فاته تتبعها ، وبذلك يقف تتبع الجمع للمحاضرة . وأخيراً وبعد مضى مدة طويلة جداً ، يبدأ بور التتبع والفهم وتكون النتيجة أن ما يفهمه خاصاً بالمسألة التى يعرضها الزائر يختلف تماماً عما يقصده هذا الزائر ، وأن الأول يصيب حيثما يخطئ الثانى .

ونجم عن كثرة تردد بور على السينما الغربية ظهور نظرية لا يعرفها أحد سوى رفاقه فى السينما فى ذلك العهد . فنحن جميعاً نعرف أن السينما الغربية تقدم دائماً أهل الشر والمكارين أولا ، ولكن البطل يكون أسرع تحركاً ويقتل فى جميع الأحوال أولئك اللئام وأهل الشر . ولقد أرجع نيل بور تلك الظاهرة إلى الفروق بين الأعمال الصادرة عن إصرار وعناد والتصرفات المشروطة ، فالشرير عليه دائماً أن يفكر قبل اللحظة التى يرفع فيها سلاحه فيستدل من ذلك على تصرفاته ، فى حين تكون حركات البطل أسرع نظراً لأنه يعمل من غير تفكير بمجرد أن يبصر الشرير يتلمس سلاحه . ولقد خالفناه جميعاً فى هذه النظرية ، وفى صباح اليوم التالى ذهب المؤلف إلى حانوت لبيع اللعب لشراء زوج من مسدسات رعاة البقر ، وأفرغنا كل ما فيها مع بور ، الذى مثل دور البطل وقتلنا جميعاً على بكرة أبينا .

ومن الأمثلة الأخرى التى تدل على بطء تفكير بور عدم مقدرته على العثور على حل سريع فى مسابقات الكلمات المتقطعة . فى مساء يوم من الأيام توجه مؤلف هذا الكتاب إلى بيت بور الريفى فى تسفيليجى (شمال چتلاند) حيث كان بور قد أمضى اليوم بأكمله يعمل مع مساعده ، ليون روزنفلد (من بلچيكا) فى كتابة ورقة هامة حول موضوع « علاقات عدم التثبت — سيجىء ذكرها فيما بعد — ، للمجال الكهرمغناطيسى » . وكان كل من بور وروزنفلد مرهقا تماماً من عمل اليوم ، وبعد تناول وجبة العشاء اقترح بور لأجل الاسترخاء والراحة أن يعمد الجمع إلى حل مسابقات الكلمات المتقطعة الواردة فى إحدى الجرائد البريطانية . ولم تسر الأمور

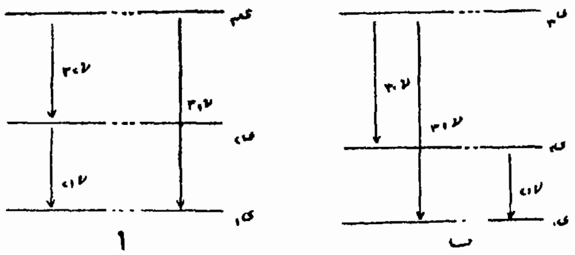
على ما يرام ، وبعد مضى نصف ساعة اقترحت فروبور (فرو fru هى اللفظ الدانمركى لكلمة السيدة أو مدام) أن نذهب جميعاً للنوم . وفى ساعة غير معروفة تماماً من تلك الليلة استيقظت أنا وروزنفلد (وقد كنا نشترك فى غرفة واحدة للضيوف فى الطابق العلوى) إثر طرق على الباب . فقفزنا فى الظلام ونحن نصيح : « ماذا ؟ ما الذى حدث ؟ » وأقبل صوت من الباب يقول : « إننى أنا بور ، إننى لا أقصد إزعاجكما ، ولكننى وددت أن أقول فقط إن المدينة الصناعية الإنجليزية المكونة من سبعة أحرف وتنتهى بلفظ تش هى أيسوتش » .

ومن أحب التعبيرات إلى نفس بور قوله : « إننى لا أقصد . . . ولكن . . . » وكم من مرة يسير وقد فتح إحدى المجلات بين يديه وهو يقول : « لا ، إننى لا أقصد النقد ، ولكننى وددت فقط أن أفهم كيف يكتب شخص هذا الهراء » .

وثمة قصة أخرى واقعية عن نيل بور نذكرها قبل أن ننتقل إلى نظريته عن الذرة . فقد حدث مرة فى ساعة متأخرة من الليل (حوالى الساعة ١١ مساء بحسب توقيت كبنهاجن المحلى) أن كان مؤلف هذا الكتاب عائداً مع بور وفرو بور وأحد الفيزيائيين الهولنديين وهو كاز كازيمير من حفلة عشاء كان قد أقامها أحد أعضاء معهد بور . وكان كاز « ذبابة بشرية » ماهرة (اللفظ الألمانى هو Fasadenkläterer فاساد نكلتيرر) ، فكثيراً ما كنا نراه فى مكتبة المعهد وقد ألصق جسده بالقرب من السقف وهو يمسك بكتاب فى يده ويمد ساقيه على طول رفوف الكتب العليا . وكنا نسير فى شارع غير مطروق ، ومررنا ببناء أحد البنوك . وكانت واجهة البنك مكونة من قوالب ضخمة من الأسمنت بينها ما يطلق عليه أهل ألبنيا اسم « المواقف » . وقد استرعت انتباه كازيمير ، فراح يتسلقها إلى نحو الطابق الثانى . وعندما عاد ، أحب بور أن يمرن قدميه فتسلق ببطء جدار المصرف ، ولما تملكنا الخوف عليه وقفت السيدة بور ومعها كازيمير وأنا نرقب من أسفل تقدم بور البطىء فى تسلق الجدار . وفى تلك اللحظة أقبل جنديان من حراس الليل فى كبنهاجن وأسرعا إلينا من الخلف استعداداً للتنفيذ ، ثم رفعا بصرهما إلى بور وقد تعلق بين الطابق الأول والثانى ، وقال أحدهما : « لا بأس ، ما هو إلا الأستاذ بور » . وبعد أن تأكدا من شخصيته انسحب الجنديان المكلفان برعاية القانون والنظام بأمان فى غير ما جلبة ولا ضوضاء .

وبعد أن تهيأ ذهن القارئ بهذه الملاحظات ، نستطيع أن نناقش نظرية بور عن الذرة ، تلك النظرية التى نشرها عام ١٩١٣ ، وكانت تعتمد على الحقيقة التى أماط عنها رذرفورد اللثام ، وهى أن للذرات نوى ثقالاً ذوات شحنات موجبة ، وتلف من حولها أسراب الكهارب أو تدور على هيئة مجموعة من الكواكب الصغيرة . وكانت أول عقبة اعترضت سبيل بور فى تلك الصورة أن الذرات لم تستطع البقاء أكثر من كسر لا يذكر من الثانية . فمن المؤكد أن الكهرب الذى يسبح بسرعة فى فلكه يعادل تماماً مولد الذبذبات الكهربى ولابد من أن يرسل أمواجاً كهرمغناطيسية ، وعلى ذلك فسرعان ما يفقد طاقته . وكان من السهل أن يقدر بالحساب أن مجموعة متتابعة من الكهارب الذرية تتحرك على طول مسارات لولبية تتساقط على النواة فى زهاء جزء واحد من مائة مليون جزء من الثانية . وكان هذا الوضع محيراً تماماً كوضع أشعة چينز فوق البنفسجية ، وكان واضحاً أمام بور أن حل هذه المشكلة يجب أن يلتمس (على نفس النمط) وبنفس الطريقة . فإذا كانت طاقة الإشعاع لا توجد إلا على هيئة نهايات صغرى من الكم الكلى فلماذا لا نفترض نفس الشىء بالنسبة إلى الطاقة الميكانيكية للكهارب وهى تدور وتلف من حول النواة؟ وفى هذه الحالة يلزم أن تمثل حركة الكهارب فى الوضع العادى للذرة النهاية الدنيا للطاقة ، فى حين تمثل حالات الاستثارة أعداداً أكبر من وحدات كم الطاقة هذه الميكانيكية . وعلى ذلك فإن الوسيلة التى تتبعها الذرة هى إلى حد ما شبيهة بما يحدث فى صندوق نقل السرعة فى السيارة . فهذا الأخير من الجائز ضبطه على السرعة الأولى أو الثانية أو النهاية العظمى ، ولكن ليس من الممكن ضبطه على ما بين هذه القيم من السرعة . فإذا كانت حركات الكهارب الذرية والضوء الذى تشعه كلاهما يخضع للكم فإن انتقال أحد الكهارب من مستوى كم أعلى إلى آخر أقل داخل الذرة يجب أن ينجم عنه إشعاع كم ضوئى تكون فيه هـ ν تساوى فرق الطاقة بين المستويين . وعلى العكس ذلك ، إذا كانت هـ ν من كم ضوئى ساقط تساوى فرق الطاقة بين الحالة العادية وحالة الاستثارة لذرة من الذرات ، فإن الكم الضوئى سوف يتم امتصاصه وبذلك ينتقل الكهرب من المستوى الأدنى إلى المستوى الأعلى . ويمثل شكل (٧ — ١١٢ ، ب) هذه الطرق لتبادل الطاقة بين المادة والإشعاع ، وهو يقودنا إلى نتيجة

هامة جداً . إذا أمكن إشعاع كم ضوئى طاقته هـ $\nu_{٣٢}$ بانتقال كهرب من الوضع ى $_{١}$ للطاقة إلى الوضع ى $_{٢}$ ، وإذا كان الانتقال من ى $_{٢}$ إلى ى $_{١}$ ينجم عن إشعاع كم ضوئى طاقته هـ $\nu_{٢١}$ ، فمن الممكن أن نشاهد ، فى بعض الحالات على الأقل ، كمًّا ضوئيًّا طاقته هـ $\nu_{٣٢}$ + هـ $\nu_{٢١}$ = هـ ($\nu_{٣٢}$ + $\nu_{٢١}$) ، الذى ينتمى إلى انتقال مباشر من ى $_{٢}$ إلى ى $_{١}$. وكذلك فإن إرسال كميتين من الضوء طاقتاهما هـ $\nu_{٣١}$ ، هـ $\nu_{٣٢}$ يجعلنا نتوقع احتمال إشعاع ضوء له كم ضوئى يساوى هـ $\nu_{٣١}$ — هـ $\nu_{٣٢}$ =



شكل (٧ – ١٢)

يمثل مبدأ ردبرج . (ا) إذا استطاع أحد الكهارب القفز من الوضع ى٣ للطاقة إلى الوضع ى٢ مرسلا ذبذبة قدرها ν٣٢ ، ثم استطاع أن يقفز مرة أخرى من ى٢ إلى ى٣ مرسلا الذبذبة ν٢١ ، فإنه حتمًا يجوز وجود انتقال مباشر من ى٣ إلى ى١ حيث يتم إرسال الذبذبة ν٣١ = ν٣٢ + ν٢١ . (ب) إذا استطاع أحد الكهارب القفز من ى٣ إما إلى ى٢ مرسلا الذبذبة ν٣٢ ، أو إلى ى١ مرسلا الذبذبة ν٣١ ، فإنه يتحتم كذلك جواز الانتقال من ى٢ إلى ى١ مع إرسال الذبذبة ν٢١ = ν٣١ − ν٣٢ .

هـ ($\nu_{٣١}$ — هـ $\nu_{٣٢}$). وبغض النظر عن هـ نقول إننا لو شاهدنا ترددين معينين لذبذبات مرسلة فى طيف ذرة معينة ، فإننا نتوقع وجود حاصل جمعهما أو الفرق بينهما كذلك ، وهذا هو عين ما يطلق عليه اسم « مبدأ الجمع لردبرج » ، الذى اكتشفه عمليًّا عالم الطيف الألمانى ردبرج قبل ظهور نظرية الكم بمدة طويلة .

ولم تترك كل الحقائق التى وضعناها سابقاً أى ريبة فى أن الفكرة الأساسية لبور الخاصة بإسباغ صبغة الكم على الطاقة الميكانيكية هى فكرة صائبة تماماً ، ولا يبقى سوى استخلاص القواعد الخاصة بصبغة الكم هذه . ولقد عمد بور من أجل

إنجاز هذه المهمة إلى دراسة أبسط الذرات قاطبة ، وهى ذرة الأيدروچين ، التى تتكون حسب ما قدمناه سابقاً من كهرب واحد يدور حول النواة التى تحمل وحدة موجبة من الشحنة ، أو البروتون كما نسميها الآن. ويتكون الطيف المرئى للأيدروچين من خطوط أربعة : أحدها أحمر والثانى أزرق ، أما الثالث والرابع فهما بنفسجيان ، إلا أن دراسة الجانب فوق البنفسجى من الطيف أظهر كثيراً من الخطوط ذوات الأمواج القصيرة . وتبين اللوحة رقم (٢) هذا الطيف ، حيث رتبت خطوط الطيف ترتيباً تصاعديًّا بالنسبة للتردد . وكان يعرف مثل هذا التتابع فى الخطوط ، التى يقترب بعضها من بعض أو هى تتزاحم رويداً رويداً ، متقاربة بذلك من نهاية بالذات ناحية الذبذبات العالية ، نقول كان مثل هذا النوع يعرف فى علم دراسة الطيف باسم « المتواليات » أو حتى « المتسلسلات » ، والمتوالية الأيدروچينية هى أقربها مثالية وأكثرها انتظاماً . وفى عام ١٨٨٥ اكتشف مدرس ألمانى الجنس كان يعمل بإحدى المدارس ، وهو ج . ج . بالمر ، أنه يمكن تمثيل خطوط طيف الأيدروچين (المعروفة الآن باسم متوالية بالمر) بالقانون الآتى المتناهى فى البساطة :

$$\nu = و \left(\frac{1}{٤} - \frac{1}{ر^2} \right) ،$$

حيث و تمثل عدداً ثابتاً ، أما ر فتأخذ القيم ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ . . إلخ (ويلوح أن ر لا يمكن أن تساوى ١ أو ٢ وإلا صارت قيمة ν فى هذه الحالة سالبة أو صفرا) .

وبضرب هذا القانون الرياضى فى هـ ، لكى نحصل على طاقة مجموعات الكم الضوئى المرسلة بالإشعاع على اليسار ، نجد أن

هـ ν = و · هـ $\left(\frac{1}{٤} - \frac{1}{ر^2} \right)$ ، الذى أعاد بور كتابته بالصورة :

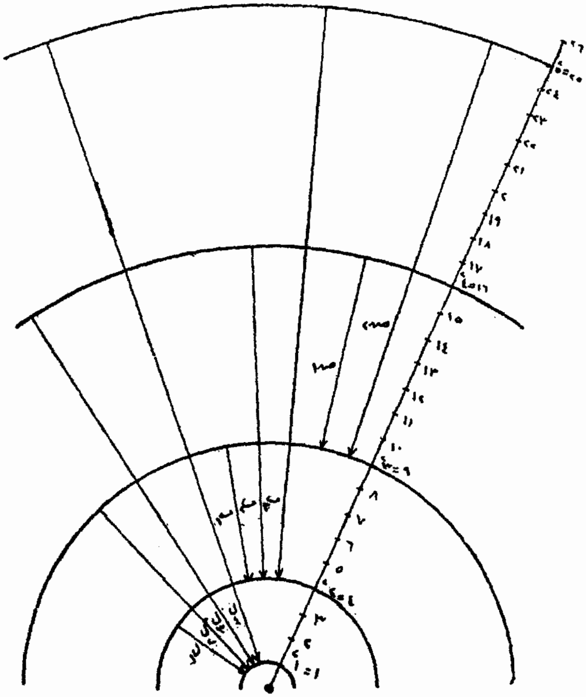
$$هـ \, \nu = و \cdot هـ \left(\frac{1}{٢^2} - \frac{1}{ر^2} \right)$$

حسب حقيقة معروفة تماماً فى علم الحساب .

ويمكن أن نتبين مما سبق أن $-\frac{و هـ}{ر^2}$ إنما تمثل مستويات الطاقة (أو أوضاعها) للكهرب فى ذرة من ذرات الأيدروچين ، تلك المستويات التى تحدث بينها الانتقالات المؤدية إلى إشعاع خطوط بالمر . وقد جعلنا علامة (السالب) تسبق كل كمية منها

نظراً لأن طاقة مسار الكهرب فى أى ذرة هى طاقة سالبة ، وبكل بساطة نجد أن معنى ذلك هوأن طاقة حركتها أقل من طاقة وضعها فى المجال الكهربى ، فلا تستطيع الإفلات . فما هو نوع الحركة الحادثة من حول النواة والتى يمكن أن تقابل قيم الطاقة هذه ؟

أبسط طريقة للإجابة عن هذا السؤال هى أن نتذكر أن طاقة الوضع لقوى كولوم إنما تتغير تغيراً عكسيًّا مع المسافة المقيسة من المركز . ولما كانت الحدود فى معادلة بالمر تتغير تبعاً لمقلوب ومربعات العدد الصحيح ر ، نستنتج أن أنصاف



شكل (٧ — ١٣)

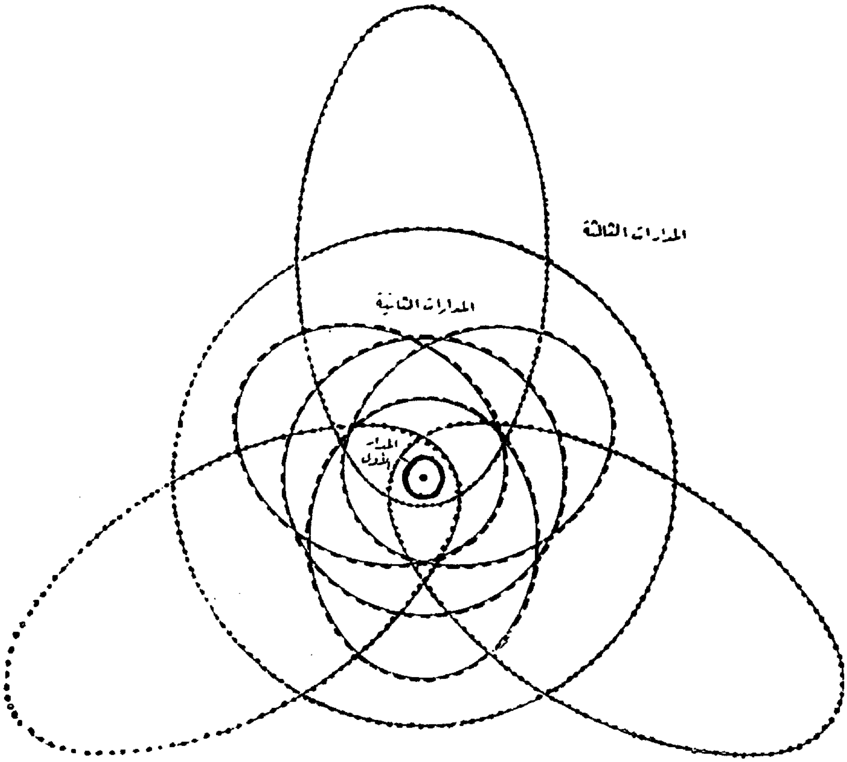
المدارات الدائرية الأربعة الأولى فى نموذج بور لذرة الأيدروجين . تتزايد أنصاف الأقطار متناسبة مع مربعات الأعداد الصحيحة . وتعطى مراحل انتقال المدار الأولى وهى المراحل ل١ ، ل٢ ، ل٣ ، ل٤ . . . متوالية ليمان . أما مراحل الانتقال ب١ ، ب٢ ، ب٣ . . . . ، وص١ ، ص ٢ ، ص٣ . . . . الخاصة بالمدارين الثانى والثالث فإنها تعطى خطوط بالمر ومتوالية باشن . ويساوى نصف قطر مدار الكم الأول × ١٠ سم .

أقطار مدارات الكم المتتابعة يجب أن تتزايد متناسبة مع ر ٢ . وفى حالة المدارات الدائرية ، التى بدأ بها بور مناقشته للموضوع ، يمكن تمثيل المقاسات والنسبية كما فى شكل (٧ — ١٣) . وتنتمى « انتقالات الكهرب » إلى المدار الثانى من المدارات الواقعة بعده إلى خطوط متوالية بالمر ، ولكن ما موضوع الاحتمالات الأخرى؟ يجب أن تكوّن أو تعطى الانتقالات من المسارات المرقومة ٢ ، ٣ ، ٤ . . . متوالية من الخطوط شبيهة بمتوالية بالمر ولكنها تقع فى جانب طيف الأشعة فوق البنفسجية البعيد . ومن ناحية أخرى يلزم أن يعطى الانتقال من المدار الأعلى إلى المدار رقم ٣ متوالية فى أقصى الأشعة تحت الحمراء . ولقد اكتشف المتواليتين المذكورتين عالمان من علماء الطيف هما «تيودور ليمان» و«فردريك باسخن» ، ولقد كان لوجود المتواليتين أكبر الأثر فى تدعيم نظرية بور الخاصة بالكهرب القافز — أو الكهرب الذى يقفز .

واستطاع بور ، عن طريق معرفته بأن أنصاف أقطار مدارات الكم (بفرض أنها دوائر) تتناسب متزايدة طردياً مع مربعات الأعداد الصحيحة ، أن يتبين أى الطاقات الميكانيكية هى التى يسبغ عليها « صبغة الكم » أى تتزايد بنفس القدر من مسار إلى آخر ، ووجد أنها حاصل ضرب كمية حركة الكهرب فى طول مساره ، وهى الكمية التى تعرف فى علم الحركة القديم باسم (الفعل) كما وجد أن التغير فى « الفعل » من مدار معين للكم إلى مدار آخر يساوى تماماً قيمة ثابت الكم هـ الذى استخدمه بلانك فى نظرية الإشعاع الحرارى التى صاغها وفى تفسير أينشتين للظاهرة الكهرضوئية .

وسرعان ما اتضح أن النموذج الأصلى لذرة بور بما يحوى من مسارات كم دائرية متحدة المركز يجب تعميمها بإضافة بعض القطاعات الناقصة بعد إسباغ صفة الكم عليها . والذى نجح فى إجراء هذا التعميم هو عالم الفيزياء الألمانى آرنولد سمرفلد . ويبين شكل (٧ — ١٤) ، مجموعة كاملة لمدرات الكم المحتملة للكهرب الموجود فى ذرة الأيدروجين . فالمدار الدائرى الأول (الخط الصلب) بقى على حاله وأضاف سمرفلد إلى المدار الدائرى الثانى (الخط المنقوط) ثلاثة مدارات على هيئة القطاعات الناقصة ، التى عندما يسبح فيها الكهرب تكون له نفس الطاقة التى تتوفر له فى

المدار الدائرى ، أما المسار الدائرى الثالث فقد أضيفت إليه ثمانية مدارات على هيئة القطاعات الناقصة (لا يبين الشكل المرسوم إلا ثلاثة منها فقط) التى تنتمى كلها إلى نفس القدر من الطاقة التى تتوافر فى الفلك الدائرى . وبعد ذلك يوجد المزيد من المدارات التى يأخذ كل مدار منها هيأة القطع الناقص ، والتى تضاف إلى المسارات الدائرية الأعلى درجة . وهكذا ازداد الوضع تعقيداً ، إلا أنه جدير بالذكر حقًّا أنه ازداد مطابقة للواقع كذلك . وهكذا لم تعد الذرة شبيهة بالمجموعة



شكل (٧ – ١٤)

المسارات الدائرية ومسارات القطاعات الناقصة فى ذرة الأيدروجين . ينتمى المدار الدائرى الأول (الخط الصلب) إلى أقل قيمة لطاقة الكهرب . وتنتمى المدارات الأربعة التالية ، التى يبدو أحدها دائريا والثلاثة الأخرى على هيئة قطاعات ناقصة ، (الخطوط المنقوطة) إلى نفس القدر من الطاقة الأعلى درجة من طاقة المدار الأول . وتنتمى المسارات التسعة التى تليها (الخطوط المنقوطة) ، التى تظهر أربعة منها فقط فى هذا الشكل إلى مرتبة أعلى من الطاقة (التى تتساوى للتسعة بأجمعها) .

الشمسية التى يمكن للمشترى فيها أن يقفز فجأة إلى فلك الزهرة ، ولكن تم وصفها بتصميم معنوى لا صلة له بدوائر وقطاعات الميكانيكا التقليدية القديمة الناقصة إلا من حيث المسافات .

ولقد صادفت نظرية بور نجاحاً منقطع النظير خلال العشر السنين الأولى من بلوغها مرتبة النضج ، وذلك فى تفسير خواص الذرات المعقدة التركيب ، وما يصحبها من طيف مرئى ، وتفاعلات كيموية إلخ . . . ولكن احتفظت النظرية خلال جميع مراحل نجاحها بصبغتها الهيكلية الأصلية ، ولم تتمخض كل المحاولات التى عملت من أجل أن يكسى الهيكل باللحم خلال انتقال الكهارب من حالة من حالات الطاقة إلى حالة أخرى ، ومن ثم حساب شدة خطوط الطيف الذى تشعه الذرة نتيجة لتلك الانتقالات ، عن شىء ما . ولقد صيغ وصف هذا الوضع بنجاح فى أبيات شعرية فى أوائل العشر الثالثة من هذا القرن ، نظمها أحد علماء الروس المشتغلين بالفيزياء النظرية ، وهو فلاديمير ا . فوك . وفيما يلى ترجمتها بالعربية :

حياك الله يا نيل بور *

املأ (الكيزان) وأشعل النيران   واشرب نخبه فى غبطة وسرور
وحرك الأوتار بأعذب الألحان   فنحن نغنى للبطل نيل بور !
يرافق ركبك فى المجىء والرواح
شرف النصر المبين والنجاح
يا بور ، يا من نكن له الإجلال فى الصدور
فضلك لاينتهى وإن أنكره الجحود   ورأيك فى الذرة ولو حار فيه الذكاء
رأى سديد قد وضحته ونحن عليك شهود   بلفظ كوحى الإله عظيم النقاء
فيا نيل يا رمز الكفاح
يا من على نهجه نبغى الفلاح
إن صغت قانوناً فقد ضمن البقاء
جعلت من الميكانيكا عبداً ذلولا   يلبى على الفور أى نداء

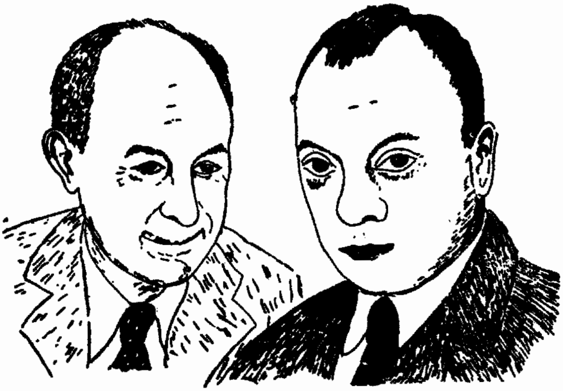
* نقلها إلى الإنجليزية ب . ب . ج . عن الشعر الروسى الذى لم ينشر ، نظم ف . أ . فوك فى أوائل عام ١٩٢٠ (المؤلف) .

وقد يبقى عليها الحظ وقتاً طويلا ولكن قوانين الطاقة راحت هباء !
فما إن تمعن فيها إلا وصاح
هراء عظيم تبدى ولاح
دوام التحرك كبش الفداء .
ورب قوانين العلة حين أنت تغامر تعينك ، ولكن من يتكهن لك ياترى
فى يوم فيه بنفسك قد تبادر لتعقيد الأمور والرجوع القهقرى؟
وثمة أمر جديد جليل
تحدث عنه نفر قليل
اثنان وتسعون جرما أزلتها أنت قهرا
من دائرة المعارف
وأنت خير عارف
وحديث تباعد المتسلسلات قضيت عليه طرا
والكم يرفع من قدرك ، ولكن ديدنك التواضع وكل كهرب دقيق يرى مركزك العظيم
يطير من فرط السرور ، وما ترنح أو تراجع يرسل الإشعاع حينا ، وهو بموضعه عليم
فيسبق بالحكم عن مسلكه
ويلهم دوما عن خطته
ويخلط النتائج بالعلة خلط الحكيم ،
ليقفز من مسار أمه الساحر
مباشرة إلى مسار آخر ، باحثاً عن مأوى له حتى لا يهيم .
سلام على نيل بور من الشعوب الدينية أنت يا من نتخذه قدوة للبشرية
نرهب فيك الرأى السديد وسراً خفيا وكل منا ولو سلب نصف الروية
يبقى مخلصاً لك
ولا يقول . أف لك
يلتهم ما تقول من الألف للياء بأى طريقة
حتى ولو كان (شرب نخبه
يستلزم خشخشة الكوز وصخبه) .
فليس منا من سبر غور كلماتك العميقة . . . ، . . . . ، . . . . ،

نموذج ذرة بور والجدول الدورى للعناصر

وبعد أن ناقشنا هكذا حركة الكهرب الواحد فى ذرة الأيدروچين ، ننتقل إلى ما يحدث فى حالة الذرات التى بها ٢ ، ٣ ، ٤ ... وأكثر من الكهارب . فالشكل العام لمسارات الكم عندما تحمل النواة شحنة أعظم من الكهربية يبقى على حاله كما فى ذرة الأيدروچين ، إلا أنه نظراً لكبر قوى التجاذب التى تؤثر بها النواة تتقلص أقطار كل المسارات بمقادير تتزايد على التدريج كلما اقتربنا من العناصر التى تعظم أرقامها الذرية .

ولكن كيف استطاعت الأعداد الكبيرة من الكهارب التى فى العناصر الثقيلة أن تتلاءم مع مسارات الكم تلك التى قلنا إنها تنكمش؟ وتجيب الفيزياء التقليدية القديمة عن هذا السؤال إجابة تافهة . وأكثر الأجهزة الميكانيكية ثباتاً واتزاناً هو الجهاز الذى لا سبيل إلى جعله يفقد أى طاقة أكثر عندما يتساقط إلى مستوى طاقة أقل . وعلى ذلك فجميع الكهارب الإضافية الموجودة فى الذرات الثقيلة يمكن أن ننتظر منها أن تقع فى مسار الكم الأول وتمثل (حلقة — حول — الوردى) ، أو بمعنى أصح حلقة من حول « النواة » ، ونظراً لأننا نعلم أن طول قطر تلك الحلقة يقل فى العناصر الثقيلة ، يمكن لنا أن نتكهن بأن الحلقة يتزايد فيها تزاحم الكهارب . أما الحقيقة والواقع فإن شيئاً من هذا لا يحدث ، وبصرف النظر عن شحنة النواة



شكل (٧ — ١٥)

انريكو فيرمى (إلى اليسار) وولفجانج باولى

يظل حجم الذرات عموماً كما هو .

ولقد لفتت هذه المسألة نظر عالم الفيزياء الألمانى ولفجانج باولى — شكل (٧ — ١٥) الذى كان منظره البدين المرح من المناظر المعتادة التى يرحب بها فى معهد بور للفيزياء النظرية . ولقد كان باولى عالماً من الطراز الأول فى الفيزياء النظرية . وبين أصدقائه كان اسمه يختلط دائماً بتلك الظاهرة الغامضة المعروفة باسم « ظاهرة باولى » . ومن المشهور والمتداول أن جميع المشتغلين بالفيزياء النظرية لا يحسنون بتاتاً إجراء التجارب واستخدام الآلات ، ويعمدون عادة إلى كسر الأجهزة الثمينة التى أحكم صنعها لمجرد لمسها . وكان باولى من بين هؤلاء الفيزيائيين النابهين ، فكانت الأشياء تهشم وتتحطم لمجرد دخوله المعمل . وحدثت أكثر الحالات إقناعاً بظاهرة باولى هذه يوماً ما عندما تناثرت على حين غرة المعدات التى يضمها معمل الأستاذ جيمس فرانك فى معهد الفيزياء بجامعة جوتنجن ، وراحت أثراً لعين لغير علة ظاهرة . ولقد دلت التحريات التى أجريت بعد ذلك على أن تلك الكارثة حدثت تماماً فى اللحظة التى توقف فيها قطار السكة الحديد الذى كان يقل باولى من زيورخ إلى كوبنهاجن مدة خمس دقائق فى محطة سكة حديد جوتنجن .

وعندما فكر باولى فى حركة الكهارب داخل الذرة ، صاغ مبدأه المشهور الخاص به (الذى أطلق عليه بنفسه اسم « مبدأ الاستبعاد ») ، وهويقول بأنه لا يمكن لأى مدار من مدارات الكم أن يتضمن أكثر من كهربين اثنين فقط . ويتطلب المبدأ فى حالة ملء هذين المحلين وجوب تضمين الكهارب التالية ضمن المسارات الأخرى . وعندما تمتلىء جميع المسارات التى فى قشرة ما ، يبدأ ملء مسارات القشرة التى تليها (تنتمى إلى مستوى أعلى من الطاقة) .

وعندما نتتبع الترتيب الطبيعى للعناصر لنصل إلى الذرات الثقيلة فالأكثر ثقلا ، تنكمش أنصاف أقطار مسارات الكم تحت تأثير شحنة النواة المتزايدة ، ولكننا نجد أنه من ناحية أخرى تحتل الكهارب مسارات أكثر وأكثر ، وبذلك يظل حجم الذرة كما هو فى المتوسط ابتداء من أكثر العناصر خفة إلى أعظمها ثقلا . ومهما يكن من شىء فإن هنالك بعض الاختلافات الطفيفة التى تحدث فى حجوم الذرات عندما تنتقل من قشرة مكتملة المعالم إلى قشرة أخرى (أشكال الغاز السامى) .

وينجم عن ذلك تغيرات صغيرة فى كثافة العناصر المختلفة تسير بحذاء التغيرات الدورية فى خواصها الكيموية .

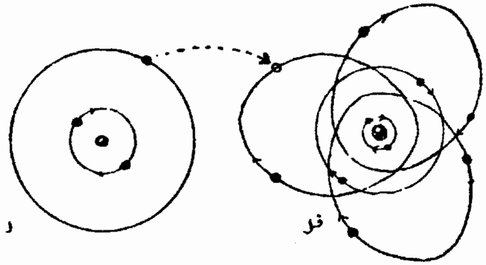
وتملأ قشور الكهارب لكل أنواع الذرات التى فى الجدول الدورى تبعاً لهذه القاعدة الكهنوتية الثابتة الخاصة بحالات الطاقة أو مستوياتها ، فيكون من اللازم أولا وقبل كل شىء تشبيع القشرة الأولى التى تمثل أقل مستوى متوافر من الطاقة . وفى حالة ذرة الهيليوم تملأ هذه القشرة تماماً بكهربين يتبع أحدهما الآخر فى مدار الكم الأول . وللعنصر الثانى ، الليثيوم ، ثلاثة كهارب ، يلزم ضم أحدها — تبعاً لمبدأ الاستبعاد — إلى القشرة التى تليها ، وهى تتكون من مدار واحد دائرى بالإضافة إلى ثلاثة مدارات على هيئة قطاعات ناقصة . ولما كانت هذه الأفلاك الأربعة يمكنها — أن تتضمن من الكهارب ما يبلغ مجموعه ثمانية ، على حين يشمل المدار الداخلى اثنين منها فقط ؛ فمن الطبيعى أن تمتلئ القشرتان الأولى والثانية فى ذرة النيون التى تحتوى على عشرة كهارب . وعندما ننتقل إلى العناصر الأكثر ثقلا نجد أن الكهارب الزائدة يجب أن تدخل ضمن مجموعة ثالثة من المدارات الدائرية والمدارات التى على شكل القطاعات الناقصة ، وهلم جرًّا . . . وعلى ذلك فإن مبدأ الاستبعاد لباولى إنما يفسر لنا التركيب الداخلى للعناصر من حيث الطريقة التى تمتلئ بها قشرات الكهارب المتعاقبة فيها ، ويتضمن المبدأ كذلك التماثل الخارجى أو الكيموى للذرة ، والصفات الدورية للخواص الكيموية للأنواع الذرية المتتابعة فى جدول العناصر . وتحدد هذه الخواص بعدد الكهارب الموجودة فى القشرات الخارجية للذرات ، تلك التى يتم تلامسها عندما تصطدم الذرات بعضها ببعض .

وخلال المدة التى تمت فيها صياغة مبدأ باولى كان المعتقد أن الكهارب ما هى إلا نقط مشحونة بالكهربية السالبة ، ولكن لم يمض وقت طويل حتى عرف أن الكهارب يلزم أن تعتبر بدورها مغناطيسات دقيقة ؛ إذ أن لها عزماً مغناطيسيًّا ، بسبب دورانها السريع فى أثناء سبحها حول النواة . وما إن تعلمنا وجوب اعتبار الكهارب مغناطيسات دقيقة ، حتى كان من الضرورى أن نعمل حساب كل من القوى الكهربية التى تعتبر المسئول الأساسى عن سبحها فى مساراتها ثم القوى المغناطيسية الناجمة عن اللف والدوران .

ويلف الكهرب بطريقة من اثنتين : إما فى اتجاه سيره فى فلكه ، وإما فى الاتجاه المضاد . ولقد تمت البرهنة على أن الكهربين اللذين ينسابان فى نفس المدار يجب أن يلفا حول نفسهما فى اتجاهين متضادين . ولقد تطلب منا هذا الكشف أن نصوغ مبدأ باولى بطريقة تختلف عن طريقتنا الأولى بعض الشيء . فنظراً لأن الكهارب التى تلف فى اتجاهات متضادة تنشر مجالات مغناطيسية ضعيفة ، فإنها تحدث تغييرات أو تأثيرات طفيفة بعضها على مسارات بعض . ونحن نقول الآن إن أى كهربين سمح لهما من الأصل بالانطلاق فى نفس المسار يأخذان فعلا مسارين مختلفين (ولو بقدر يكاد لا يذكر) . وعلى ذلك فإن من المنطق أن ننظر إلى المسارات المسموح بها كأزواج متقاربة انفصلت تحت تأثيرات مغناطيسية ضعيفة.

وتعطينا وجهة النظر هذه الخاصة بالقشرات الذرية تفسيراً مبسطاً عن طبيعة التكافؤ الكيموى للعناصر المختلفة ؛ إذ يمكننا التدليل ، على أساس نظرية الكم ، أن الذرات التى لها قشرة متكاملة الكهارب تقريباً يكون لها ميل لأخذ المزيد من الكهارب لملء تلك القشرة ، وأن الذرات التى من شأنها مجرد الابتداء فى قشرة كهارب جديدة تميل إلى التخلص من مزيد الكهارب . فمثلا ذرة الكلور (رقمه الذرى ١٧) لها كهربان فى القشرة الأولى ، وثمانية فى الثانية ، وسبعة فى الثالثة ، مما يجعل القشرة الخارجية محتاجة إلى كهرب واحد . أما ذرة الصوديوم فهى من ناحية أخرى (الرقم الذرى ١١) بها كهربان فى القشرة الأولى ، وثمانية فى الثانية ، وكهرب واحد فقط فى ابتداء القشرة الثالثة . وفى مثل هذه الظروف ، عندما تصادف ذرة من الكلور ذرة أخرى من الصوديوم تعمد الأولى إلى « تبنى » الكهرب الفريد الموجود فى القشرة الخارجية للذرة الثانية فتصير كلا⁻ ، على حين تصبح ذرة الصوديوم ص + ، وعند ذلك تتماسك الذرتان معاً تحت تأثير القوى الكهربية الاستاتيكية ، وتكونان جزيئا فى حالة الاستقرار من ملح الطعام . وكذلك ، فإن ذرة الأوكسجين التى ينقصها كهربان اثنان من قشرتها الخارجية (الرقم الذرى = ٨ = ٢ + ٦) تميل إلى تبنى كهربين من أى ذرة أخرى ، وعلى ذلك تستطيع ضم ذرتين من الذرات وحيدة التكافؤ (يد ، ص إلخ . . .) أو ذرة واحدة ثنائية التكافؤ مثل ذرة المغنسيوم (الرقم الذرى = ١٢ = ٢ + ٨ + ٢) ، التى بها كهربان يمكن إعارتهما . ويبين شكل (٧ — ١٦)

مثالا للترابط الكهربى الذى من هذا النوع . ويتضح لنا كذلك السبب الذى من أجله تصبح الغازات السامية التى اكتملت تماماً جميع قشراتها ولا تميل إلى أخذ كهارب ، خاملة كيموياً .



شكل (٧ — ١٦)

الترابط الكيموى بين ذرة الليثيوم (ل) وذرة الفلور (فل) فى جزىء فلوريد الليثيوم (ل فل) يقفز كهرب زائد من القشرة التى تنفرد به فى ذرة الليثيوم إلى مكان خال من القشرة المزدحمة بذرة الفلور .

موجات المادة

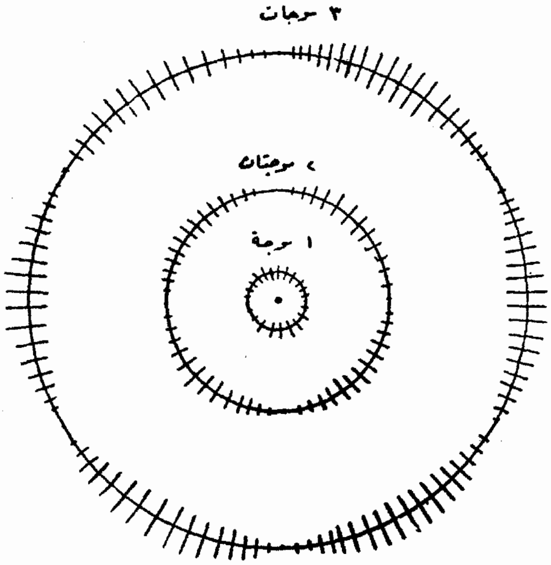
فى عام ١٩٢٤ ، قام أحد خاصة الفرنسيين ، المدعو المركيز لويس دى برولى البالغ من العمر ٣٢ عاماً — شكل (٧ — ١٧) — ، وكان قد بدأ حياته العلمية كطالب يدرس تاريخ العصور الوسطى ثم ما لبث أن اهتم بالفيزياء النظرية ، بتقديم رسالة لنيل درجة الدكتوراه من جامعة باريس ، ضمنها آراء عجيبة . فقد

شكل (٧ — ١٧)

ب . ا . م . ديراك (إلى اليسار) ولويس دى برولى

اعتقد دى برولى أن حركة الجسيمات الأولية المادية (كالكهارب) يصحبها ويقودها نوع خاص من الموجات الطائرة التى تنتشر فى الفضاء مع تلك الجسيمات . وإذا كان الأمر كذلك فإنه يمكن اعتبار مدارات الكم ، المختارة فى نموذج بور للذرة ، على أنها تلك المدارات التى تحقق وجوب تضمين طولها عدداً صحيحاً من هذه الموجات الطائرة : موجة واحدة فى مسار الكم الأول ، وموجتان فى المسار الثانى . إلخ . كما فى شكل (٧ — ١٨) . ولقد سبق أن رأينا كيف أنه فى حالة المسار الدائرى البسيط تحقق مدارات الكم لبور الشرط الذى يوجب أن تكون أطوالها مضروبة فى كمية الحركة (الكتلة مضروبة فى السرعة) للكهارب المتحركة تساوى ه للمسار الأول ، و ٢ ه للمسار الثانى ، و ٣ ه للثالث . وهكذا . . وتنطبق هاتان العبارتان عند ما نفترض أن طول الموجة الطائرة يساوى ه مقسومة على كمية حركة الجسيم : $\frac{ه}{ك . ع}$

وهذا هو عين ما افترضه لويس دى برولى . وفى حالة المسارات التى لها أنصاف أقطار بين هذه القيم لا تستطيع « الموجة الطائرة » التماسك ، أى ربط نفسها مع مؤخرتها ، وعلى ذلك فإن مثل هذا النوع من الحركة



شكل (٧ — ١٨)
أمواج دى برولى وهى تجرى على طول مدارات بور

لا يمكن أن يوجد . وهكذا استطاع دى برولى بضربة جريئة واحدة أن يغير مدارات الكم الهيكلية لنيل بور إلى فكرة مدارات يكسوها بعض « اللحم » المكون من أنابيب الأرغن ، وأغشية الطبل . . . إلخ . وهكذا اكتسبت ميكانيكا الكم للجسيمات خواص تشابه أمواج الصوت أو الضوء .

وأمكن وضع الرأى الثورى تحت الاختبار . فإذا كانت الكهارب تقودها أمواج دى برولى فى تحركها داخل الذرة ، فمن اللازم كذلك أن تبدى بعض الخواص الموجية عندما تنطلق فى خطوط مستقيمة عبر الفضاء . وفى حالة حزم الكهارب ذات بضعة آلاف الفولت التى تستخدم فى المعامل ينتظر أن يكون طول موجة دى برولى نحو ١٠^-٨ سم ، نظراً لأنه يضاهى طول موجة الأشعة السينية ، وبذلك يمكن استخدام طريقة حيود الأشعة السينية فى اختيار ما إذا كانت هنالك أمواج تصاحب الكهارب ، أم لا توجد تلك الأمواج على الإطلاق .

وفى عام ١٩٢٧ أجرى نجل السير ج . ج . تمسون المدعو جورج (السير جورج فيما بعد) تجربة فى هذا الاتجاه مع عالمى الفيزياء الأمريكيين ك . ج . ديفيسون و ل هـ . جيرمر ، بأن وجهوا إلى بلورة من البلورات حزمة من الكهارب التى اكتسبت عجلة تحرك تحت تأثير مجال مغناطيسى معين . وتمخضت النتيجة عن صورة على غرار تلك التى فى اللوحة رقم (٤) — السفلى — وهى تظهر فوق أية شبهة بأننا نعالج هنا ظاهرة الحيود الموجية . وقد انطبق طول الموجة المقدر من أقطار حلقات الحيود هذه تماماً مع طول الموجة المستخرج بمعادلة دى برولى : $\frac{هـ}{ك\ ع}$. ولقد كان هذا الطول يتناقص أو يزداد عندما كانت سرعة الكهارب التى فى الحزمة تزداد أو تنقص . وبعد مضى عدد قليل من السنين أعاد أحد الألمان المشتغلين بالفيزياء وهو أوتو — ستيرن إجراء تجربة ديفيسون وجيرمر ، مستخدماً بدلا من الكهارب حزمة من ذرات الصوديوم ، فوجد أن ظاهرة الحيود التى يصفها قانون دى برولى تحدث فى هذه الحالة كذلك . وعلى هذا الأساس صار من المؤكد أن الجسيمات الصغيرة التى على غرار الكهارب أو الذرات تقاد فى تحركها بوساطة « موجات طائرة » ، إلا أن طبيعتها كانت على أية حال مجهولة فى ذلك الوقت .

وعممت آراء دى برولى ووضعت على أسس رياضية قويمة عام ١٩٢٦ على يد الفيزيائى النمسوى أروين شرودنجر – شكل (٧ – ١٩) – الذى ضمنها كلها معادلة شرود نجر المشهورة ، التى يمكن استخدامها فى حركة الجسيمات تحت أى مجال من مجالات القوى . ولقد أدى استخدام معادلة شرود نجر هذه وتطبيقها على حالة الأيدروجين ، وكذلك الكهارب الأكثر تعقيداً ، إلى استنتاج جميع نتائج نظرية الكم المدارية لبور ، وبالإضافة إلى ذلك أجيب عن السؤال (الخاص بشدة إضاءة خطوط الطيف) الذى عجزت النظرية القديمة عن معالجته ، وبدلا من مسارات الكم الدائرية أو التى على هيئة قطاعات ناقصة أصبح داخل الذرة يوصف بما يطلق عليه اسم دوال * التى تمثل الأنواع المختلفة من أمواج برولى الممكن وجودها فى الفضاء المحيط بنواة الذرة .

وفى نفس الوقت الذى نشر فيه شرود نجر ورقته الأولى فى إحدى المجلات الألمانية التى تمتازبا لقيادة العلمية وهى (أنالن ديرفيزيك) Annalen der Physick ، ظهرت فى مجلة مماثلة (زيتشرفت ديرفيزيك) Zeitschrift der Physick ورقة على نظرية الكم كتبها شاب ألمانى من المشتغلين بالفيزياء (عمره ٢٤ سنة فى ذلك الوقت) هو فيرنر هيزنبرج – شكل (٧ – ١٩) – . وليس من السهل أن نصف نظرية

شكل (٧ – ١٩)

فيرنر هيزنبرج (إلى اليسار) واروين شرودنجر

* منطوقها دوال فاى (المترجم) .

هيزنبرج مبسطة ولو قليلا . أما الفكرة الأساسية فيها فهى أن الكميات الميكانيكية ، مثل الوضع والسرعة والقوة إلخ . . . ، يجب ألاّ تمثل بالأعداد العادية مثل ٥ أو ٧½ أو ١٣⅚ ولكن بوساطة التراكيب الرياضية المعنوية التى يعرف التركيب الواحد منها باسم « الماتركس matrix » أو المصفوف ، وهذا التركيب يشبه صفاً من صفوف لغز الكلمات المتقطعة المكون من الأرقام العادية التى يتبعها عدد لا ينتهى من الصفوف الأفقية والرأسية . وفى إمكاننا أن نستنتج قواعد خاصة بعمليات « جمع وطرح وضرب وقسمة هذه المصفوفات »، وهى تحكى تماماً قواعد الجبر إلا أنها تختلف عنها فى قاعدة واحدة عامة : فى جبر المصفوف لا يلزم أن يكون حاصل ضرب ب فى ا مساوياً حاصل ضرب ا فى ب ، وذلك نظراً للتعقيد العظيم فى طرق ضرب المصفوفات . ولعل أقرب مثال نسوقه لذلك لغة البشر التى يعتبر فيها دوجلاس مالكولم مخالفاً تماماً للمدعو مالكولم دوجلاس ، وقمة مسطحه تختلف عن مسطحه القمة . ولقد أثبت هيزنبرج أننا إذا اعتبرنا أن جميع المقادير التى فى معادلات الميكانيكا التقليدية القديمة هى مصفوفات ثم أدخلنا شرطاً جديداً فحواه أن كمية الحركة×السرعة ــ السرعة×كمية الحركة = هـ ت ، حيث هـ هى ثابت الكم ، ت = $\sqrt{-1}$ = صديقنا التخيلى القديم ، نحصل على نظرية تصف لنا فى سلامة تامة جميع ظواهر الكم المعروفة .

ولقد أدى ظهور ورقتين فى آن واحد توصل كل منهما إلى نفس النتائج تماماً باستخدام وسيلتين مختلفتين اختلافاً كلياً ، إلى حدوث ضجة فى عالم الفيزياء ، إلا أنه سرعان ما اتضح أن النظريتين متشابهتان رياضياً . وفى الحقيقة والواقع نجد أن مصفوفات هيزنبرج إنما تمثل حلول معادلات شرودنجر الموضوعة فى جداول ، ويمكن للمرء عندما يحاول حل المسائل المختلفة المتعلقة بنظرية الكم أن يستعمل الميكانيكا الموجية وميكانيكا المصفوفات على التبادل .

علاقات عدم التثبت من القياس*

ما هو المعنى الطبيعى لموجات دى برولى التى تقود الجسيمات المادية فى تحركاتها؟ هل هذه الموجات حقيقية كموجات الضوء ، أم هى فكرة رياضية أدخلت لمجرد السهولة فى وصف الظواهر الطبيعية فى عالمنا الصغير ** ؟ تمت الإجابة عن هذا السؤال بعد مضى سنوات معدودات على صياغة الميكانيكا الموجية على يد و . هيزنبرج ، الذى سأل نفسه عن الكيفية التى تؤثر بها قوانين الكم (التى أدخلت النهايات الصغرى لطاقة الإشعاع والطاقة الميكانيكية) فى أفكارنا الأساسية فى الميكانيكا التقليدية القديمة .

ولقد عالج هيزنبرج المشكلة من أساسها : فحاول استخدام القواعد والطرق العادية المستخدمة فى رصد الظواهر التى مقاييسها على قدر مقاييس الذرة . وإننا نستطيع فى حياتنا العادية أن نشاهد أية ظاهرة ونقيس خواصها من غير أن نؤثر فى هذه الظاهرة بأى قدر مهما صغر . ولزيادة الإيضاح ، نقول إننا عندما نحاول قياس درجة حرارة قدح صغير من القهوة مثلا باستخدام ترمومتر حمام مائى كبير ، نجد أن الجهاز المستخدم سوف يمتص قدراً كبيراً من حرارة القهوة للدرجة أنه يحدث تغييراً ملحوظاً فيها . أما إذا استخدمنا « ترمومترا » كيموياً دقيقاً فإننا نستطيع الحصول على قراءة صحيحة إلى حد كبير . ونحن نستطيع أن نقيس درجة حرارة الأجسام الصغيرة التى تصل من الصغر حجم الخلية الحية باستخدام ازدواج حرارى دقيق جداً بحيث يمكن إهمال سعته الحرارية . ولكننا لا نستطيع بحال من الأحوال أن نشاهد الاضطراب الناجم عن إدخال أجهزة القياس التى نستخدمها إلى عالم الذرة . وإن مقادير الطاقة على هذا المقياس تبلغ من الصغر الحد الذى تسبب فيه أدق وسائل القياس وأعظمها حساسية اضطرابات جوهرية للظاهرة المرصودة ، ومن ثم لانستطيع الجزم بأن نتائج القياس والمشاهدة تصف بالفعل ماكان قد يحدث لو أننا لم نستخدم

* يساير هذا الجزء إلى حد كبير ما جاء فى الموضوع الذى كتبه المؤلف بعنوان « مبدأ عدم التثبت » ونشره فى سينتفك أمريكان Scientific American عدد يناير عام ١٩٥٨ (المؤلف) .

** يعنى عالم الذرة (المترجم) .

وسائل القياس ، فالراصد ومعداته كلاهما يصبح جزءاً متكاملا مع الظاهرة التى تدرس . وحتى من حيث المبدأ لا يوجد شيء مثل ظاهرة طبيعة مطلقة ، وفى جميع الحالات يوجد تأثير متبادل لا يمكن تجنبه على الإطلاق بين الراصد والظاهرة .

ولقد عبر هيزنبرج عن ذلك بدراسة مفصلة لمسألة محاولة متابعة حركة جسيم مادى . فى عالمنا الكبير نستطيع أن نتابع كرة الطاولة وهى تطير من غير أن تؤثر فى المسار على الإطلاق . ونحن نعلم أن الضوء يؤثر فى الكرة بما له من ضغط ، ولكن ليس معنى ذلك أنه يجب أن نلعب تنس الطاولة فى غرفة مظلمة (على فرض إمكان ذلك) ، وذلك لأن ضغط الضوء يبلغ من القلة والضآلة قدراً لا يحدث أى أثر أو فرق فى مسار الكرة . ولكن عندما نبدل كرة الطاولة بكهرب من الكهارب يصبح الوضع مختلفاً تماماً . ولقد درس هيزنبرج الحالة عن طريق « تجربة ذهنية » وهى وسيلة للإقناع استخدمها اينشتين فى معالجته لنظرية النسبية .

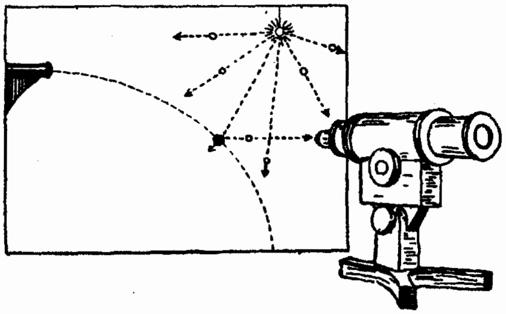
وفى مثل هذا التمرين الذهنى يمنح القائم بالتجربة « ورشة مثالية » يستطيع فيها صنع أى نوع من الأجهزة ــ ما دام تصميمها وعملها لا يتنافيان مع قوانين الفيزياء الأساسية . فمثلا يستطيع أن يحصل على صاروخ يتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء، ولكن لا تزيد على سرعة الضوء ، أو يستطيع أن يكون عنده من مصادر الضوء ما يشع فوتون * واحداً ، ولكن لا يشع نصف فوتون. ولقد أمد هيزنبرج نفسه بمعدات كاملة من أجل رصد طيران أحد الكهارب ــ شكل (٧ ــ ٢٠) ــ ثم تصور وجود مصدر تنطلق منه الكهارب ، وقد قذف بكهرب واحد فقط فى اتجاه أفقى داخل حجرة كاملة التفريغ تماماً ــ خالية حتى من جزىء واحد من الهواء ــ ويقبل الضوء الذى يستخدمه من مصدر مثالى يشع فوتونات بحسب طول الموجة المطلوب والعدد المرغوب ــ واستطاع مراقبة حركة الكهرب داخل الغرفة من خلال مجهر مثالى أمكن إدارته بحسب الحاجة على طول مدى الطيف ، من أطول موجات الراديو إلى أقصر موجات جاما ** .

---

* الفوتون هو كم الضوء ممثلا بجسيم ذبذبته γ وطاقته $h\,N$ (المترجم)

** المعروف أن طيف الأمواج الأثيرية كما نرصده متكاملا يبدأ بأمواج الراديو الطويلة فالمتوسطة فالقصيرة فأمواج الرادار فالأمواج الحرارية أو تحت الحمراء فالضوء المرئى فالأشعة فوق البنفسيجية فأشعة إكس ــ أو السينية فأشعة جاما (المترجم) .

فماذا يحدث عند إطلاق كهرب فى الغرفة ؟ تقول كتب الميكانيكا التقليدية القديمة إن الجسم يجب أن ينطلق فى مسار يعرف باسم القطع المكافئ ، ولكن الذى يحدث فعلا أنه فى اللحظة التى يصطدم معه فوتون يترنح الكهرب وتتغير سرعته . وعندما نرصد الجسيم فى مواضع متتابعة نجد أنه يتخذ مسارا متعرجاً بسبب ما يتعرض له من صدمات الفوتون . ولنحاول بعد ذلك ، بما عندنا من جهاز يتحرك حركة مثالية فى كل اتجاه ، أن نقلل من تأثير الصدمات بتصغير طاقة الفوتون ، وذلك باستخدام ضوء منخفض الذبذبة نسبياً . وفى الواقع عندما نصل إلى نهاية التردد البطىء للغاية (وهو أمر جائز فى جهازنا) ، نستطيع تصغير اضطراب حركة الكهرب كما يحلو لنا ويطيب . ولكن عند ذلك تعترض سبيلنا عقبة أخرى ، فكلما ازداد طول موجة الضوء قلت قدرتنا على توضيح الجسم المرئى ، بسبب ظاهرة الحيود . وعلى ذلك لا نستطيع الاستمرار فى تحديد الوضع الحقيقى للكهرب فى أى لحظة . ولقد برهن هيزنبرج على أن حاصل ضرب عدم التثبت فى الوضع فى عدم



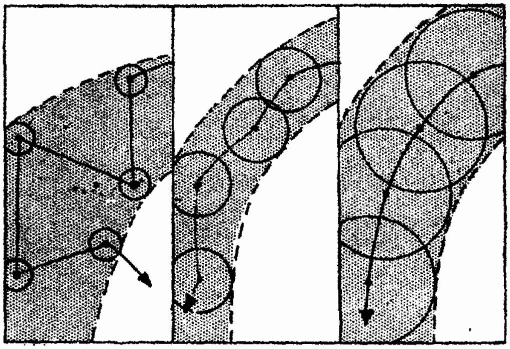
شكل (٧ — ٢٠)

تجربة هيزنبرج المثالية لرصد مسار جسيم مادى

التثبت من السرعة لا يمكن أن يقل فى القدرة عن ثابت بلانك مقسوماً على كتلة الجسيم :

$$\triangle ع \cdot \triangle س \geq \frac{هـ}{ك}$$

وعلى ذلك فإننا عندما نستخدم موجات قصيرة جداً نستطيع أن نحدد بكل دقة أوضاع جسيم يتحرك ، ولكننا سوف نتدخل كثيراً فى سرعته ، أما عندما نستخدم الموجات الطويلة فإننا نستطيع تجديد سرعته التى لا نعمل على قلقلتها ، ولكننا سوف نصبح فى حالة عدم تثبت من وضعه . والآن سوف نتخير وضعاً وسطاً بين هاتين الحالتين من حالات عدم التثبت : فعندما نستخدم طول موجة متوسطة ونختار هذا الطول اختياراً حراً فإن مسار الجسيم سوف يضطرب بقدر معتدل فقط ، ونظل قادرين على تحديد خط سيره إلى درجة كبيرة من الدقة — شكل (٧ — ٢١) — . وسوف لا يكون المسار الموصود كما تعبر عنه الألفاظ التقليدية القديمة خطاً واحداً ، وإنما يكون حزمة حافاتها غير صافية . وعندما نصف مسار أحداً الكهارب بهذه الطريقة لا نجد صعوبة فى حالة كحالة أنبوبة الصورة فى التليفزيون مثلا ، حث يكون « سمك » مسار الكهارب إلى الشاشة أصغر بكثير من قطر البقعة الضوئية التى تتكون على الشاشة بوساطة حزمة الكهارب . وإننا نستطيع أن نمثل مسار الكهرب هنا بخط ونحن مقتنعون بذلك ، ولكننا لا نستطيع أن نصف مدار أى كهرب داخل الذرة بنفس الألفاظ ، فإن حزمة عدم التثبت تباغ من الاتساع قدر المسافة بين مسار الكهرب ونواة الذرة .



حـ ب ا

شكل (٧ — ٢١)

مسار جسيم فى تجربة هيزنبرج الخيالية . (ا) طول موجة الضوء كبير جداً بحيث إن كل تحديد للوضع يصير فيه خطأ جسيم . (ب) الموضع الوسط . (حـ) التردد عال جداً والجسيم يزاح كثيراً .

لنفرض أننا عدلنا عن تتبع خط سير جسيم متحرك باستخدام الضوء ، وحاولنا طريقة غرفة التكاثف * بدلا منها . وإذن نبنى داخل معملنا الخيالى «غرفة تكاثف» مثالية ، مفرغة تماماً من الجسيمات المادية ، ولكنها تملأ « بدلائل » تخيلية غاية فى الصغر يمكن إثارتها عندما يمر الكهرب عن كثب منها . وتبين « الدلائل » المثارة خط سير الجسيم المتحرك تماماً كما تفعل نقط الماء فى غرفة تكاثف حقيقية ** .

وتبعاً للميكانيكا التقليدية القديمة يمكن أن تكون « الدلائل » من حيث المبدأ صغيرة صغراً ولطيفة لطفاً يكفى للحيلولة دون سلبها أى كمية لها اعتبارها من طاقة الجسيم المتحرك ، فنستطيع رصد مساره بما نرغب من دقة . ولكن ميكانيكا الكم أثارت اعتراضاً أساسياً على طريقته وتقول إحدى قواعدها : كلما صغر الجهاز الميكانيكى كان ذلك عاملا على كبر ما له من كم (النهايات الصغرى) للطاقة وعلى ذلك فلما قلل حجم « الدلائل » (من أجل زيادة الدقة فى قياس وضع الكهرب) عملت على أخذ كمية أكبر من طاقة الجسيم المتحرك . ويحكى هذا الوضع تماماً الصعوبة المميتة التى نلاقيها فى متابعة خط سير جسيم باستخدام الضوء . ومرة أخرى نصل إلى نفس العلاقة الخاصة بعدم التثبت من المكان والسرعة .

ومتى يرحل عنا كل هذا ؟ يستنتج هيزنبرج أنه فى مستوى الذرة يكون لزاماً علينا أن نعدل عن فكرة مسار الجسم كخط رياضى (يعنى له طول فقط وليس له عرض) فهذه الفكرة تبقى صحيحة ما دمنا نعالج الظواهر الطبيعية المعتادة التى نقابلها فى حياتنا العادية ، حيث نستطيع اعتبار الجسم المتحرك كأنما يمسك فى مساره أو يحدد بدقة بنوع من أنواع القضبان الحديدية . أما فى عالم الكهارب الصغيرة داخل الذرة فإن كل حركة بذاتها أو حالة بعينها لا تصل إلى هذه الدرجة من الدقة فى التحديد ، فالجسيمات المادية الصغيرة التى على غرار الكهارب والنوى

* طريقة غرفة التكاثف أو غرفة السحابة هى الطريقة التى استخدمها ولسون للتكاثف بإحداث حالات مختلفة من التشبع فوق الأيونات كنوى تكاثف (المترجم) .

** سيجىء وصف غرفة التكاثف الحقيقية التى يستخدمها علماء الفيزياء فى الباب التالى . (المؤلف)

إنما تتحرك عبر مدى تحت قيادة الموجات التى يجب أن تعتبر على شاكلة خطوط المسار المتزايدة العرض المعروفة فى الميكانيكا التقليدية القديمة . والمهم أن هذه القيادة إنما تجرى بطريقة أقرب إلى عدم التحديد منها إلى التحديد . فنحن نستطيع فقط أن نحسب احتمال وصول أى كهرب إلى نقطة معينة على حاجز ما، أو احتمال وجود أى جسيم مادى آخر فى مكان بالذات داخل جهاز معين ، ولكننا لا نستطيع أن نجزم بالمسار الذى يتبعه تحت تأثير مجال للقوى معلوم .

ومن اللازم أن نوضح أن كلمة « احتمال » إنما استخدمت هنا بطريقة تختلف نوعاً ما عن استخدامنا لها المعتاد فى الفيزياء التقليدية وحياتنا العادية . فعندما نقول فى لعبة البوكر إن هناك احتمالا لسحب ورقة ما (الملك مثلا) فإننا نعنى بذلك أن علينا فقط تقدير الفرص لأننا نجهل ترتيب الورق (فى الكتشينة) . ولو أننا كنا نعلم تماماً ترتيب الأوراق فيها لأصبح فى مقدورنا دون شك تحديد ما إذا كانت الورقة (ملكا) أم لا . وتفترض الفيزياء التقليدية القديمة صحة نفس الشىء فى مسألة كمسألة الطريقة التى تتصرف بها جزيئات الغاز ، فقدلزم تحديد صفاتها على أسس من الاحتمال الإحصائى فقط نظراً للنقص فى معرفتنا فلو أعطينا أوضاع وسرعات كل الجزيئات ، لاستطعنا التنبؤ بما يحدث ويتم داخل الغاز بالتفصيل . ويجتذ مبدأ عدم التثبت هذه الفكرة من أساسها ، فلا سبيل لنا إلى التنبؤ بحركات الجسيمات واحداً تلو الآخر ، وذلك قبل كل شىء نظراً لأننا لن نتمكن قط من معرفة الحالات الابتدائية على وجه التحديد . ومن حيث المبدأ لا سبيل للحصول على قياس صحيح لكل من مكان وسرعة جسيم فى حجم الذرة .

وهل توجد دالة الموجات Ψ ، (أو على الأصح تربيعها) التى تدل على مسار أى جسيم مادى ، كما يوجد « شىء طبيعى » مؤكد ننظر إليه بنفس المعنى الذى ننظر به إلى ذرات الصوديوم أو الصواريخ عابرة القارات ؟ إن دوال الموجات إنما « توجد » بنفس المعنى الذى توجد به خطوط سير الأجسام المادية . فليس من شك أن مدار الأرض من حول الشمس ، أو القمر من حول الأرض ، له وجود وكيان بالمعنى الرياضى الذى يمثل مجموعة النقط التى يشغلها على التوالى الجسم المادى المتحرك ، ولكن هذا المسار ليس له وجود بنفس المعنى الذ ى توجد به قضبان السكة

الحديد التى تسيطر على حركة قطار يعبر البلاد . ومن أخص « صفات دوال الموجات أنها ليس لها أية كتلة ، فهى لا تعلو كونها أفلاكاً مرسومة » .

ولعل أقرب مثل إليها فى الطبيعة التقليدية القديمة هى فكرة درجة التعادل (أنترو بى) وهى دالة من دوال الرياضة ، اخترعها رجال الفيزياء النظرية ، وتتصل بالاحتمال الرياضى لأى نوع معلوم لحركة الجزيئات تحدد الاتجاه الذى فيه تسرى أو عليه تسير عادة التغيرات الحرارية الديناميكية من قيم درجات التعادل الصغيرة صاعدة إلى القيم الكبيرة . ولكن درجة التعادل ليست « شيئاً طبيعياً » يؤدى نفس المعنى الذى تؤديه الكتلة أو الطاقة ، وبينما نستطيع الكلام عن جرام واحد من المادة ، أو عن جرام واحد من الطاقة (منذ عهد أينشتين) لا نجد معنى على الإطلاق للكلام عن جرام واحد من درجة التعادل . ولكن يكون هناك بعض المعنى عندما نتحدث عن جرام واحد من أمواج دى برولى ، أو عن جرام واحد من دالة شرود نجر .

وإن نظرة واحدة إلى معادلة هيزنبرج ترينا السبب الذى من أجله نستطيع صرف النظر عن مبدأ عدم التثبت ونركن فى أمان إلى مبدأ التحديد اللطيف القديم عندما نعالج المادة على مقياس غير صغير ، فإن حاصل ضرب عدم التثبت فى الوضع فى عدم التثبت فى السرعة يساوى ثابت بلانك ه مقسوماً على كتلة الجسم . وثابت بلانك هذا عبارة عن كمية فى غاية الصغر ، فقيمته العددية تساوى ١٠ –٢٧ فقط بوحدة السنتيمتر – جرام – ثانية . فعندما ندرس جسما يزن مليجراماً واحداً ، فإننا نستطيع من حيث المبدأ أن نعين فى نفس الوقت وضعه إلى أقرب جزء من تريليون جزء من السنتميتر ، وكذلك سرعته إلى أقرب جزء من تريليون جزء من السنتيمتر فى الثانية – أو ٣٠ ميكرونا لكل جيل .

ولقد حول بور مبدأ هيزنبرج هذا إلى نوع جديد من فلسفة الفيزياء ، ونجم عن ذلك تغيير جوهرى فى أفكارنا الخاصة بعالم المادة – وهى الأفكار والآراء التى نكتسبها من تجاربنا العادية منذ الطفولة ، إلا أنها سمحت لكثير من معضلات الفيزياء الذرية وألغازها بأن تبدو مفهومة ذات معنى .

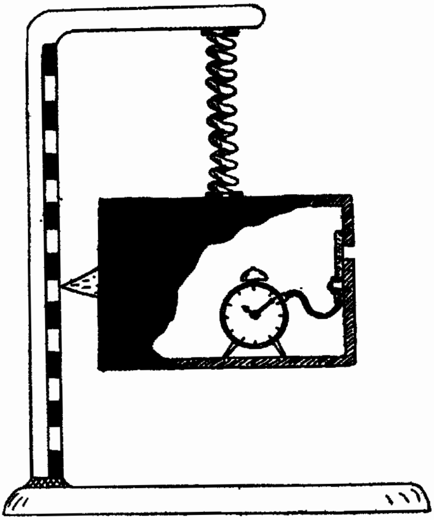
وقبل كثير من علماء الفيزياء وجهة النظر هذه الجديدة ، على حين رفضها البعض الآخر وتنكر لها . وكان ألبرت أينشتين ضمن المجموعة الأخيرة ، إذ لم تسمح

فلسفته (التي تركزت في تحديد الأشياء) بالسمو بعدم التثبت إلى مرتبة المبادئ ، وكما كان حساده يحاولون إيجاد متناقضات في نظريته الخاصة بالنسبية ، حاول أينشتين اكتشاف المتناقضات في مبدأ عدم التثبت الخاص بفيزياء الكم . ومهما يكن من شيء فقد أدت مجهوداته هذه إلى تقوية مركز مبدأ عدم التثبت . ومن الأمثلة الرائعة التي حدثت مصادفة وكانت تدل على ذلك ، ما حدث في المؤتمر الدولي السادس للفيزياء الذي انعقد في بروكسل عام ١٩٣٠ .

فقد أجرى أينشتين — في أثناء نقاش كان يحضره بور — « تجربة ذهنية » تبين أن الزمن إحداثي رابع للمكان — الزمني ، وأن الطاقة مركبة رابعة لكمية التحرك (الكتلة × السرعة) ، وقال إن معادلة عدم التثبت لهيزنبرج تتطلب أن يتوقف عدم التثبت في الزمن على عدم التثبت في الطاقة ، وأن حاصل ضرب الكميتين يساوي على الأقل ثابت بلانك هـ . وراح أينشتين يحاول إثبات خطأ ذلك ، وأن الزمن والطاقة يمكن تحديدهما من غير عدم تثبت بتاتاً . فقال : خذ مثلا صندوقاً مثالياً تبطنه من الداخل مرايا مثالية بحيث يستطيع الإبقاء على طاقة الإشعاع إلى ما لا نهاية من الوقت . عين وزن الصندوق . وبعد فترة تبدأ ساعة ميكانيكية ، سبق ضبطها كما تضبط القنبلة الزمنية ، العمل على فتح بوابة مثالية لينطلق منها بعض الضوء . وبعد ذلك عين وزن الصندوق مرة أخرى . وبطبيعة الحال يكون التغير في الكتلة دليلا على طاقة الضوء التي تم إشعاعها وانبعاثها . وعقب أينشتين أنه يمكن بهذه الوسيلة قياس الطاقة المنبثقة والزمن الذي يتم فيه ذلك إلى أي درجة نريدها من الدقة ، مما لا يتفق مع مبدأ عدم التثبت .

وفي صباح اليوم التالي ، بعد قضاء ليلة ساهرة ، أذاع بور كلمة هادمة لبرهان أينشتين العكسي ، وتقدم بتجربة فكرية مضادة استخدم فيها جهازاً مثالياً خاصاً به « وقد بناه المؤلف فيما بعد بصفته أحد طلبة بور وأخرجه من الخشب والمعدن ليستخدمه بور في محاضراته عن هذا الموضوع شكل (٧ — ٢٢) — » وهاجم بور مسألة تعيين وزن صندوق أينشتين ، وقال إن مقياساً من الزنبرك له مؤشر يسجل الوزن على عمود رأسي مثبت عن كثب يكفي تماماً لهذا الغرض ، وذكر بور أنه لما كان من الضروري أن يتحرك الصندوق في الاتجاه الرأسي كلما تغير وزنه ، فلابد من وجود عدم تثبت

فى سرعته الرأسية ، ومن ثم عدم تثبت فى ارتفاعه فوق المنضدة . وبالإضافة إلى ذلك فإن عدم التثبت فى ارتفاعه فوق سطح الأرض سوف يسبب وجود عدم تثبت فى معدل الساعة ، إذ أنه حسب النظرية النسبية يتوقف المعدل الذى تسير به عقارب الساعة على موضع الساعة فى مجال الجاذبية . واستمر بور فى التدليل على أن عدم التثبت فى الزمن وفى تغير كتلة الصندوق تقوم بينهما دون شك العلاقة التى حاول أينشتين هدمها .



شكل (٧ – ٢٢)
مقاييس أينشتين – بور لقياس وزن الضوء

وعندما هزم أينشتين بما قال وما قدم بنفسه ، سلم بأن فكرة بور وهيزنبرج خالية من المتناقضات الداخلية ، إلا أنه حتى آخر أيام حياته رفض قبول مبدأ عدم التثبت ، وظل يأمل فى أن تعود الفيزياء مرة أخرى إلى وجهة نظر إمكان التحديد فى يوم من الأيام .

ثقوب فى لاشىء

نال بول أدرين موريس ديراك – شكل (٧ – ١٧) – درجته الجامعية فى هندسة الكهرباء فى أوائل العشرينات من هذا القرن ، وسرعان ما ألفى نفسه من غير عمل . وعندما عجز عن الحصول على وظيفة ما تقدم للحصول على منحة للدراسات

العليا بجامعة كمبردج وأجيب طلبه . وفى أقل من عشر سنوات حصل على جائزة نوبل فى الفيزياء لما قام به من إضافات هامة فى مجال ميكانيكا الكم . ولقد كان ديراك ، وهو لا يزال ، عالماً من النوع الذى يعيش فى « برجه العاجى » وبينما كان يسره دائماً أن يتحدث إلى أتباعه عن رحلته إلى الشرق ، أو أى موضوع آخر عادى ، كان يفضل أن يتتبع كل دراسته بنفسه . وكانت ملاحظاته التى يبديها خلال الاجتماعات العلمية دائماً دقيقة وفى صميم الموضوع . وحدث مرة فى مؤتمر للفيزياء النظرية بكبنهاجن أن استمع إلى أحد العلماء اليابانيين المدعوى . نيشينا ، وكان قد ملأ السبورة بالعديد من الحسابات ليصل فى النهاية إلى قانون هام يتصل بموضوع تشتت الأشعة ذات الموجات القصيرة بوساطة الكهارب الطليقة . ونبه ديراك نيشينا ولفت نظره «إلى أن الحد الثالث ،فى المعادلة التى استنتجها بعد جهد على السبورة ، الموضوع بين قوسين ، تسبقه علامة سالبة بينما فى النسخة الأصلية كان هذا الحد موجباً » . وأجاب نيشينا قائلا : « حسنا . الصواب هو ما جاء فى الأصل ، ولابد أننى ارتكبت خطأ فى العلامة فى مكان ما فى أثناء استنتاج تلك المعادلة هنا على السبورة» . وأجاب ديراك مصححاً : « إن الخطأ فى علامات الأعداد الفردية ثلاثة وخمسة وسبعة وهلم جرا ، يسبب دون شك نفس النتيجة » .

وحدث مرة فى أثناء فترة الأسئلة عقب محاضرة ديراك فى جامعة تورنتو أن رفع أحد الأساتذة الكنديين الذين حضروا المحاضرة يده قائلا : « إننى لم أفهم يا دكتور ديراك كيف استنتجت هذه المعادلة التى فى الطرف العلوى إلى يسار السبورة » . وأجاب ديراك : « ليس هذا بالسؤال ولكنه تقرير حالة » ثم استمر يقول : « من يريد السؤال بعده من فضلكم ؟ » .

ونحن نستطيع أن نظهر قدرته الفائقة فى الرياضيات بحالة أنجز فيها حل مسئلة صعبة محيرة كانت تشغل بال الرياضيين والفيزيائيين فى جامعة جوتنجن فى أثناء إحدى زيارات ديراك لها . وكانت هذه المسألة تتضمن كتابة جميع الأعداد من ١ إلى ١٠٠ باستخدام كل ما لدينا من العلامات الجبرية + ، — ، وأسس ، وجذور . . إلخ ، بحيث لا يستخدم سوى أربع اثنينات فمثلا : يمكن كتابة ١ بالصورة $\frac{٢ \times ٢}{٢ \times ٢}$ ، كما يمكن كتابة ٢ بالصورة $\frac{٢}{٢} + \frac{٢}{٢}$ ، وكتابة ٣ ، ٥ على هيئة

$٢^٢ - \frac{٢}{٢}$ ، $٢^٢ + \frac{٢}{٢}$ ، ٧ على هيئة $\frac{٢}{٢\times٠٠٢} + ٢$ وهلم جرا .

وما إن أعطى ديراك هذه المسألة حتى وجد لها حلا عاماً يتضمن كتابة أى عدد باستخدام ثلاث اثنينات فقط ، وهذا الحل هو :

$$ن = - لو^٢ لو_٢ \sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{٢}}}} ،$$

حيث يساوى عدد الجذور القيمة ن ويستطيع الذين يعرفون شيئاً عن علم الجبر استنتاج برهان هذه المعادلة بسهولة .

ومن بين جميع أعمال ديراك الرياضية كان الرجل دائماً يفخر ببحث منها ، لم يدخل ضمن مآثره العلمية التى اشتهر بها . وفيما كان يتحدث إلى زوجة أحد أعضاء هيئة التدريس بالكلية راقبها وهى تعمل على إنجاز « كوفية » من شىء ما . ولما عاد إلى دراسته حاول أن يعيد فى ذاكرته حركة الإبر السريعة وهى فى يدى السيدة ، واستنتج أنه توجد طريقة أخرى ممكنة لاستخدام الإبر ، وأسرع للإعلان عن اكتشافه ، وساءه أن يعلم أن الطريقتين — وهما « الشغل بالإبرة » Knitting أو « نتنج) و « التخريز » أو « برلنج » Purling — تستخدمان منذ قرون .

وما إن ضاع منه هذا الاكتشاف الهام فى مجال الأشغال اليدوية ، حتى راح الرجل يعمل العديد من الإضافات فى مجال نسبية نظرية الكم ، والميكانيكا الموجية ، ولم يمض عليها فى ذلك الحين سوى سنوات معدودات ، وكانت قد صاغها أصلا شرودنجر فى حالة الحركة اللانسبية ، أى حركة الجسيمات التى لها سرعات صغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء . وتلك فترة كان علماء الفيزياء النظرية قد تصدعت أدمغتهم خلالها فى محاولة توحيد النظريتين العظيمتين ؛ : النسبية والكم . وبالإضافة إلى كل ذلك فقد اعتبرت معادلة شرودنجر الموجية الكهرب كنقطة ، ولم تسفر كل المحاولات التى عملت من أجل استخدام تلك المعادلة فى حالة الكهرب الذى يلف مكتسباً خواص المغناطيس الصغير عن أية نتيجة .

ولقد صاغ ديراك فى ورقته المشهورة التى نشرها عام ١٩٣٠ معادلة جديدة ، تحمل الآن اسمه ، تسمح بصيد عصفورين بحجر واحد : فهى تتمشى من ناحية مع كل مستلزمات النسبية ؛ إذ يمكن استخدامها لحركة الكهارب مهما بلغت سرعتها ، وهى من ناحية أخرى تقودنا من تلقاء نفسها إلى النتيجة القائلة بأن الكهرب

يجب أن يبدو كأنما هو نحلة صغيرة ممغطسة تلف وتدور . ولا سبيل إلى مناقشة معادلة ديراك (نسبية الموجية) هذه لعظم تعقيدها ، وما على القارىء إلا أن يبقى مطمئناً إلى صحتها وسلامتها .

وعلى قدر ما بدت معادلة ديراك عظيمة رائعة فإنها سريعاً ما أدت إلى تعقيد هائل ، نظراً لأنها وحدت بنجاح منقطع النظير نظريتي النسبية والكم . ولقد جاءت المشاكل عن طريق أن ميكانيكا النسبية (لم تناقش فى الباب السادس) تؤدى إلى احتمال رياضى بوجود عالمين مختلفين : أحدهما عالم (موجب) — وهو الذى نعيش فيه — والثانى عالم غريب « سالب » — وهو ما لا سبيل له سوى تحدى واعتراض سبيل تصوراتنا وأحلامنا . وكتلة الأجسام فى هذا العالم السالب هى بدورها سالبة كذلك ، ومعنى ذلك أنها عندما تدفع فى اتجاه معين تتحرك فى الاتجاه المضاد . وبطريقة التشابه أو المقارنة الواضحة الجلية نستطيع أن نطلق على الكهارب التى لها كتل سالبة اسم « الكهارب البليدة » . ومن المنتظر أن تحدث الأعاجيب فى هذا العالم الذى تكون فيه الكتلة سالبة ؛ فمثلا لكى نجعل الجسم يتحرك إلى الأمام يكون علينا أن ندفعه إلى الخلف ، ولكى نوقفه عن الحركة يكون لزاماً أن ندفعه إلى الأمام . ولنأخذ مثلا كهربين فى حالة السكون يقع أحدهما بجوار الآخر ، فنظراً لما يحملان من شحنة كهربية توجد بينهما قوى طاردة . ولو أن كلا منهما كان كهرباً « عادياً » فإن هذه القوى سوف تكسبهما عجلتين فى اتجاهين متضادين ، ومن ثم يطير الكهربان ويأخذان فى التباعد بسرعة عالية . أما إذا كان أحدهما على أية حال من النوع « البليد » فإن قوى التنافر سوف تعمل على دفعه وتحريكه تجاه الكهرب الآخر ، فى نفس الوقت الذى يبتعد فيه هذا الأخير . ونظراً لأن الكهربين يساوى كل منهما الآخر عددياً ، فإنهما سوف يبتعدان وتتزايد سرعتهما إلى الأبد ، وهكذا يظل الكهرب « البليد » يطارد الكهرب « العادى » . وهنا لا يوجد تناقض مع قانون بقاء الطاقة ، فإن طاقة حركة الكهرب العادى هى $\frac{1}{2}$ ك ع^{2} ، أما الكهرب البليد فإن طاقة حركته هى $-\frac{1}{2}$ ك ع^{2} ، بحيث تكون الطاقة الكلية للجهاز المكون من الكهربين معاً هى $\frac{1}{2}$ ك ع^{2} $-\frac{1}{2}$ ك ع^{2} = صفراً ، أى تماماً كما كانت الحال عند السكون .

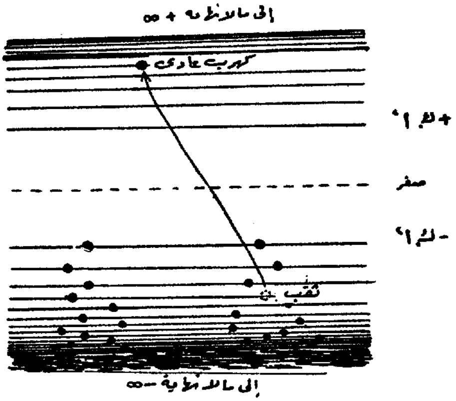
ولم يحدث قط أن شاهد أحد كهارب بليدة أو حجارة بليدة * أو حتى كواكب بليدة ، وما هذا العالم السالب إلا حل خيالى زائد لمعادلات أينشتين فى الميكانيكا ، ولم يكن هناك ما يدعو إلى القلق قبل أن يوحد ديراك النسبية والكم. وفى الواقع نجد أن طاقة الكهرب العادى وهو فى حالة السكون تساوى ك ا٢ ، أما عندما يتحرك بالسرعة ع فإن طاقة حركته يلزم أن تضاف إليه كذلك . ومن ناحية أخرى نجد أن الكهرب «البليد» له طاقة سكون تساوى — ك ا٢ ، كما تسبب حركته طاقة حركة سالبة تضاف إليه أيضاً . وعلى ذلك فإن الرسم البيانى الذى يمثل طاقة النوعين من الكهارب يبدو كما هو موضح فى شكل (٧ — ٢٣) ، فهو ينقسم إلى جزءين : العلوى ، وهو الخاص بالكهارب العادية . ثم السفلى — وهو للكهارب البليدة — وتفصل بين الجزئين مسافة بين + ك ا٢ و — ك ا٢ ، وهى لا تنتمى لأى نوع من أنواع الحركة الممكنة على الإطلاق . ومن ثم نرى أنه : (إذا كانت حركة الجسيمات مستمرة) ، فإنه لا سبيل إلى تغييرها من الجزء العلوى فى الشكل إلى الجزء السفلى ، و يمكن بذلك التخلص من الصعوبة لمجرد أن نقول : « إن كهاربنا هى جسيمات لا ترتكب القبيح ، كتلتها موجبة ، ونحن لا نعبأ قط ولا نأبه بأمر الاحتمال الرياضى الثانى » .

ومهما يكن من شىء فإننا لا نستطيع التخلص من الصعوبة بهذه السهولة عندما نوحد نظريتى النسبية والكم . وفى الحقيقة نجد أنه تبعاً لنظرية الكم ليس على الكهارب إلا القفز من أحد مستويات الطاقة إلى مستوى آخر حتى لو لم يكن هنالك انتقال مستمر بين حالتى الحركة . فإذا كان فى مقدور الكهارب أن تقفز من أحد مسارات بور إلى مسار آخر داخل الذرة ، لتشع الطاقة على هيئة كم ضوئى ، فلماذا لا تستطيع القفز من أحد مستويات الطاقة العليا إلى مستويات أخرى أقل فى شكل (٧ — ٢٣) ؟ ولو أمكن ذلك حقاً لعمد كل كهرب عادى إلى القفز إلى حظائر الكهارب البليدة ذات الطاقات السالبة ، ولنتج عن استمرار فقد كميات أكثر وأكثر من الطاقة عن طريق الإشعاع أن يتحرك بسرعة أكبر وأكبر ، مكتسباً طاقة حركة سالبة . . وبطبيعة الحال لا يحدث ذلك ، ولكن لماذا لا يحدث ؟

وكانت الوسيلة الوحيدة التى عالج بها ديراك الموقف أن افترض أن جميع

---

* يعنى حجارة تسقط من السماء أو من العالم السالب على هيئة شهب أو نيازك (المترجم) .



شكل (٧ — ٢٣)

محيط ديراك المكون من « الكهارب البليدة » ، مبيناً تكوين زوج كهربى (كهرب سالب وآخر موجب) .

حالات الطاقة السالبة تمتلئ تماماً بالكهارب البليدة ، وأن كهارب حالات الطاقة الموجبة ممنوعة من النزول إليها حسب مبدأ الاستبعاد لباولى . وبطبيعة الحال كان معنى ذلك أن الفضاء ليس فراغاً بالمعنى الصحيح ، ولكنه يمتلىء إلى درجة الإشباع بكهارب بليدة تتحرك فى شتى الاتجاهات الممكنة بجميع السرعات المحتملة ! ونحن نجد فى الواقع أنه يلزم أن تضم كل وحدة من وحدات الحجوم فى الفضاء عدداً لا نهائياً من هذه الجسيمات التى تناقض نفسها بنفسها ! فلماذا إذاً لا نلحظها قط ؟ تفسير ذلك فى الواقع كاللغز المحير . فلنتصور مثلا سمكة من أسماك أعماق البحار لم تصعد قط إلى سطح المحيط ، ولذلك فهى لا تعلم بتاتاً أن للماء نهايته من أعلى . فلو أن هذه السمكة لها من الذكاء القدر الذى يسمح لها بالتمعن فيما حولها ، فإنها سوف لا تفكر حتى فى الماء « كوسط » ، ولكنها سوف تنظر إليه كأنه « فضاء طليق » . وكذلك يمكن القول بأن علماء الفيزياء لا يشعرون بوجود هذا السرب البالغ اللانهاية من الكثافة والمكون من الكهارب البليدة ، وذلك نظراً لتوزيعه بانتظام محكم عبر الفضاء . وبطبيعة الحال لاح أن هذه الفكرة هى على غرار فكرة الأثير العالمى القديم ، ولكنها كانت تستحق الدراسة . وعندما نعود إلى سمكتنا الذكية التى تعيش فى أعماق البحار ، نستطيع التصور أنها كوّنت لنفسها فكرة عن الجاذبية عن طريق

رصد زجاجات الجعة « البيرة » الفارغة وغيرها من النفايات ، بل بعض السفن بأكملها ، التي تغوص متساقطة إلى قاع « المحيط » وفى يوم من الأيام يصادف أن ينطلق هواء كان حبيس إحدى الغرف فى سفينة غارقة ، وتلاحظ سمكتنا الذكية سلسلة من الفقاعات الفضية تتتابع صاعدة إلى سطح المحيط . ليس من شك أن السمكة سوف يتملكها العجب ، وبعد برهة سوف تستنتج أن لتلك الكرات الفضية كتلات سالبة . أوليس الحق معها ؟ وإلا فكيف تتحرك تلك الكرات صاعدة إلى أعلى فى نفس الوقت الذى تعمل فيه الجاذبية على دفع كل شىء إلى أسفل ؟

ولقد كانت لديراك نفس هذه الآراء حول محيطه الملىء إلى درجة التشبع بكهارب طاقاتها سالبة . ولنفرض الآن أن فقاعة وجدت فى محيط ديراك ، أى أن كهرباً بليداً راح يرتفع ، فكيف يمكن لعالم الفيزياء ملاحظته والإحساس به ؟ لما كان تغيب شحنة سالبة يعادله وجود شحنة موجبة ، فإنه سوف يلاحظه على هيئة جسيم شحنته موجبة . وكذلك فى حالة الفقاعة تعكس علامة الكتلة ، وهكذا يعبر عن فقد الكتلة السالبة بكسب أو وجود كتلة موجبة . وهل من الجائز أن تكون مثل تلك الفقاعة التى تتحرك فى محيط ديراك ما هى إلا (نواة الأيدروجين) أو بروتون عادى ؟ بدت هذه الفكرة رائعة ، إلا أنها لم تنفع ولم تشفع ؛ فقد حاول ديراك تفسير ازدياد كتلة الفقاقيع (أو البروتونات إذا صح ذلك) بسبب اللزوجة العالية الناجمة عن تأثير الكهارب البليدة بعضها فى بعض ، إلا أنه لم ينجح فى محاولته هذه ، فقد ظلت كتلة كل جسيم من الجسيمات (الفقاقيع) ذات الشحنات الموجبة تساوى تماماً على الدوام كتلة الكهرب الواحد . والذى زاد هذه الصعوبة تعقيداً حسابات باولى ، الذى برهن على أنه إذا كان البروتون بحق فقاعة فى محيط ديراك فإنه لن يكون هناك سبيل لوجود ذرة الأيدروجين وبقائها إلا خلال فترة صغيرة لا تذكر من الثانية الواحدة . وليس من شك أنه لو كانت ذرة الأيدروجين « نقطة تلف من حول إحدى الفقاعات » . . لهوت إليها لتملأ الفراغ الذى تشغله ، وبذلك تتداعى ذرة الأيدروجين وتندثر فى أقل من لحظة . وبهذه المناسبة اقترح باولى ما يعرف باسم « مبدأ باولى الثانى » ، الذى يقول بأن أية فكرة جديدة يصوغها عالم من علماء الفيزياء النظرية يمكن فى الحال استخدامها لجميع الذرات التى

يتكون منها جسمه ، وعلى ذلك فبحسب هذا المبدأ كان يستنفد جسد ديراك وتندثر معالمه فى فترة لا تعدو كسراً صغيراً من جزء من ألف جزء من الثانية بعد تصوره لتلك الفكرة ، وبذلك كان يتم إنقاذ غيره من علماء الفيزياء النظرية من سماعها ...

وفى عام ١٩٣١ كان أحد المشتغلين بالفيزياء فى أمريكا ، وهو كارل أندرسن يدرس المسارات التى تحدثها داخل غرف التكاثف الكهارب ذات الطاقات العظيمة المقبلة فى رخات الأشعة الكونية ، وذلك من أجل قياس سرعة تلك الكهارب . وعندما وضع غرفة التكاثف فى مجال مغناطيسى قوى ، كم كان عجبه عندما أظهرت الصور الفوتوغرافية أن نصف الكهارب أزيح فى اتجاه معين ، على حين أزيح النصف الآخر فى الاتجاه المضاد . ومعنى ذلك وجود خليط يتكون من ٥٠ ٪ من الكهارب السالبة الشحنة و ٥٠ ٪ من الكهارب الموجبة الشحنة ، ولكل منهما نفس الكتلة . وكانت هذه الأخيرة تمثل الثقوب فى محيط ديراك ، وهى التى رفضت تمثيل دور البروتونات ، وإنما انبثقت كجسيمات لها صفاتها ومعالمها . وسرعان ما أبدت التجارب التى أجريت على الكهارب الموجبة ، وهى التى تسمى عادة باسم البوزترونات ، التكهنات التى بنيت على نظرية الثقب لديراك ، فإن الزوج المكون من كهرب موجب وآخر سالب يمكن إنتاجه عن طريق تصادم كم الضوء ذى الطاقة العالية (مثل أشعة جاما أو الأشعة الكونية) مع نوى الذرات . ولقد انطبق احتمال توافر هذه الحادثات تماماً مع القيم التى تم حسابها على أساس نظرية ديراك . ولقد لوحظ أن الكهارب الموجبة عندما تنطلق خلال المادة العادية تنعدم من الوجود بتصادمها مع الكهارب العادية ، على حين تنطلق الطاقة المعادلة لكتلتيهما على هيئة فوتونات لها طاقات عالية . والحق يقال : إن كل كبيرة وصغيرة جاءت كما كان متوقعاً تماماً .

ولكن ما شأن تلك النظرية العجيبة التى تعتبر الكهارب الموجبة ثقوباً فى وسط مكدس بالكهارب ذات الكتل السالبة ؟ على أية حال ؛ فالنظرية هى مجرد رأى نظرى ، والذى يثبت صحتها تمشيها مع الحقائق المعملية والنتائج التجريبية ، بصرف النظر عن مقدار إعجابنا بها . ومنذ ظهور ورقة ديراك الأساسية تمت البرهنة على أنه لا يلزم فى الحقيقة افتراض وجود المحيط الذى لا حدود لكثافته ، والمكون من

كهارب الكتل السالبة ، وأن البوزترونات يمكن اعتبارها تحت أى ظرف يعرض ولأى غرض كان بمثابة الثقوب الموجودة فى فضاء خلو خلواً تاماً من المادة .

المادة المضادة

وما إن تم اكتشاف الكهارب الموجبة حتى راح المشتغلون بالفيزياء يبحثون عن البروتونات أو نوى الأيدروجين السالبة ، وهى التى يمكن أن يكون وضعها بالنسبة إلى البروتونات العادية الموجبة شبيهاً بوضع البوزترونات بالنسبة إلى الكهارب (الإلكترونات) . ولما كانت كتلة البروتون تعادل نحو ألفين من المرات قدر كتلة الكهرب ، فإن إنتاج هذه البروتونات إنما يتطلب قدراً من الطاقة يعادل عدة بلايين إلكترون فولت * ولقد أدى ذلك إلى ازدياد الطموح والتطلع لعمل مشروعات لبناء أجهزة تكسب الجسيمات عجلات تزايدية ** من شأنها أن تكون مصدراً للطاقات اللازمة لقذف النواة . وبدأت الولايات المتحدة الأمريكية وضع أحجار الأساس لمثل هذه المعجلات « البيفاترون » فى معمل الإشعاع بجامعة كاليفورنيا فى بركلن ، وكزموترون فى معمل بروكهافن الأهلى بجزيرة لونج أيلاند . والذى كسب هذا السباق نفر من علماء الطبيعة على الساحل الغربى ، وهم إميليو سجرى ، و و. تشمبرلين وآخرون ، الذين أعلنوا فى أكتوبر عام ١٩٥٥ أنهم شاهدوا بروتونات سالبة تنبثق من الأهداف التى يطلقون عليها ٦,٥ بف (بليون فولت كهربى) من القذائف التى تحطم بها الذرة .

وتركزت الصعوبة الأساسية فى رصد البروتون السالب الذى يتكون بضرب الهدف فى أن تلك البروتونات ينتظر أن تكون مصحوبة بعشرات الألوف من الجسيمات الأخرى (الميسونات الثقيلة) التى تتكون فى أثناء الضرب كذلك . وعلى ذلك فقد لزم فصل البروتونات السالبة بعد ترشيحها من بين جميع الجسيمات الأخرى . وتم إنجاز ذلك بوساطة « ممرات عديدة » معقدة أمكن تحقيقها باستخدام المجالات المغناطيسية

---

* يعادل الالكترون فولت طاقة قدرها ١,٦ × ١٠ —١٢ ارج (المترجم) .

** انظر الباب الثامن تحت عنوان « أول محطات النواة » (المؤلف) .

والفتحات الضيقة . . . إلخ التى لا يمكن أن يمر خلالها سوى الجسيمات التى لها صفات تضاد صفات البروتون العادى الموجب . وعندما أمرت أسراب الجسيمات المنطلقة من الهدف (عندما يعترض سبيل حزمة القذائف التى يوجهها إليه البيفاترون) خلال تلك « الممرات المعقدة » صار من المنتظر خروج البروتونات السالبة فقط من طرفها المقابل . وقد أجريت التجربة ، وكم كان عجب الباحثين الأربعة عندما شاهدوا الجسيمات السريعة تخرج بمعدل جسيم واحد كل ست دقائق من الفتحة الخلفية . ولقد دلت التجارب التى أجريت بعد ذلك على أن تلك الجسيمات كانت بروتونات أصيلة سالبة تتكون فى الهدف عند ضربه بحزمة البيفاترون ذات الطاقة العالية . ولقد قيست كتلة البروتون فوجدت أنها تعادل ١٨٤٠ مرة قدر كتلة الكهرب الواحد . ويعرف هذا الرقم بأنه كتلة البروتون العادى الموجب أيضاً .

وكما تباد الكهارب الموجبة المتولدة صناعياً على أثر مرورها عبر المادة العادية المكونة من أكداس الكهارب السالبة ، فإن المتوقع أن البروتون السالب يباد وتندثر معالمه كذلك عندما تعترض سبيله البروتونات الموجبة وتصطدم معه .

ولما كانت الطاقة الناجمة عن عملية إفناء البروتون والبروتون المضاد تفوق وتربى فوق الطاقة التى تنجم عن إفناء الكهرب والكهرب المضاد بما يعادل نحو ألفى ضعف ، فإن عملية إفناء البروتونات إنما تسير بعنف وقوة أشد بكثير من عمليات إفناء الكهارب ، مما يسبب تكوين « نجم » يدخل فى تركيبه جسيمات عديدة .

ويمدنا هذا التدليل على وجود البروتونات السالبة بمثال رائع عظيم على الاختبار التجريبى لما تتكهن به النظريات من أمور خاصة بصفات المادة ، حتى لو بدت النظرية هزيلة غير مصدقة وقت إعلان تلك النتائج والتكهنات . فقد أعقب ذلك فى خريف عام ١٩٥٦ أن اكتشف النيوترون * المضاد ، أى الجسيمات التى تقف بالنسبة إلى النيوترونات العادية كما تقف البروتونات السالبة بالنسبة إلى البروتونات الموجبة . ونظراً لانعدام الشحنة الكهربية فى هذه الحالة ، فإن الفرق بين النيوترونات

---

* النيوترون هو البروتون عديم الشحنة ، أى المتعادل كهربياً ، وتقارب كتلته كتلة البروتون كما قدمنا (المترجم) .

والنيوترونات المضادة يمكن أن يتمثل أو يشاهد فقط على أساس ميلهما المتبادل لإفناء بعضهما بعضاً .

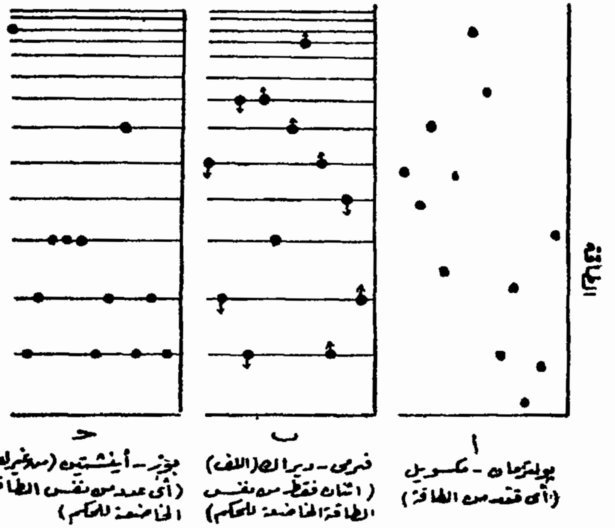
ونظراً لإمكان وجود البروتونات والنيوترونات والكهارب التى تتكون منها ذرات المادة العادية ، وظهورها جميعاً فى الحالات المضادة ، فإن ذلك يعنى إمكان وجود المادة المضادة المكونة من هذه الجسيمات . ومن اللازم أن تكون جميع الصفات الكيموية والطبيعية للمادة المضادة هى عينها صفات المادة العادية ، والسبيل الوحيد الذى نستطيع به أن نقرر أن حجرين يتكونان من مادتين متضادتين فيما بينهما هو ضمهما معاً ، فإذا لم يحدث شىء فهما من نفس النوع المادى ، أما إذا حدثت بينهما عملية إفناء ذريعة فهما من مادتين « متضادتين » .

واحتمال وجود المادة المضادة فى هذا الوجود يتيح فرصة إثارة مسائل لا حد لها فى مجالى الفلك والعلوم الكونية . فهل مادة الكون بأسره من نفس النوع ، أم أن هناك أرجاء من نوع مادتنا وأخرى من المادة المضادة موزعة هكذا حسبما اتفق عبر الفضاء اللانهائى ؟ هناك رأى قوى يقول بأن المادة المنتشرة فى مجموعتنا الشمسية ، والتى تدخل فى نطاق الطريق اللبنى (أو طريق التبانة) هى من نوع واحد متجانس . والحق يقال : لولم يكن الأمر كذلك لولدت عمليات الإفناء الذريعة التى تتم بين النجوم والمادة الكونية المنتشرة بينها نوعاً من الإشعاع القوى الذى لا يمكن تجنب رصده من الأرض ، ولكن السؤال هو : هل أقرب المجرات لنا فى الفضاء ، مثل سديم « أندروميدا » العظيم ، وهل مئات ملايين مجرات النجوم الأخرى المتناثرة فى الفضاء والتى تقع فى مجال رصد المنظار الفلكى المكبر الذى يبلغ قطر مرآته ٢٠٠ بوصة بمرصد جبل بالومار ، تتكون كلها من نفس النوع من المادة ، أم هى خليط مكون من ٥٠ ٪ من كل من المادتين * ؟ ولكن إذا كانت جميع مادة الكون من نوع واحد فلماذا يكون الأمر هكذا ، وإذا كان بعضها من المادة العادية وبعضها الآخر من المادة المضادة ، فكيف تم فصل هذه الأجزاء المميزة بعضها عن بعض ؟ إننا لا نملك الإجابة عن أى من هذه الأسئلة ، وكل ما نملكه على أية حال هو الأمل فى أن يتمكن علماء الفيزياء والفلك فى المستقبل من حل هذه المعضلة .

* يرى (المترجم) أن هذه الحقائق العلمية إنما تلقى الضوء أو بعض الضوء على قوله تعالى فى سورة فاطر (٤١) : «إن الله يمسك السموات والأرض أن تزولا ولئن زالتا إن أمسكهما من أحد من بعده ...» إذ أن التقاء أجرام السماء المختلفة المادة بضمها ببعض يعنى فناءها .

الإحصاء الكمى

كان لنظرية الكم الخاصة بالحركة أثر بالغ وتأثير شامل فى نظرية الحركة الحرارية التى ناقشناها فى الباب الرابع من هذا الكتاب . فليس من شك أنه إذا كان الكهرب المتحرك داخل الذرة ليس له من سبيل سوى أن تكون طاقة حركته على قدر معين حسب قاعدة معلومة ، فمن اللازم أن تكون الحال كذلك مع جزيئات الغاز التى تتحرك فى حيز معلوم . وعلى ذلك فعندما ندرس توزيع الطاقة بين جزيئات الغاز ، لا نستطيع الاسترسال فى الفرض القائل بأن جزيئات الغاز يمكن أن يكون لها أى قدر من الطاقة — شكل (٧ — ٢٤) — ، كما سبق أن رأينا فى النظريات القديمة التى صاغها بولتزمان ، ومكسويل ، وجبز ، وغيرهم ، بل على العكس من ذلك يلزم أن يكون أمامها مستويات محددة من الطاقة لا تحيد عنها ، يحددها حجم الوعاء الذى يضم الغاز ، ولا يمكن أن توجد قيم للطاقة بين هذه المستويات . ولكن الذى



شكل (٧ — ٢٤)

ثلاث عينات من طرق المعالجة الإحصائية لطاقة ١٢ جسيما غازياً

زاد الوضع تعقيداً أن بعض جسيمات الغاز (مثل الكهارب) تخضع لمبدأ باولى الذى يحول دون اشتراك أكثر من اثنين من تلك الجسيمات فى شغل نفس مستوى الكم ، على حين لا تخضع بعض الجسيمات الأخرى (مثل جزيئات الهواء) لهذا المبدأ أو هذا الشرط . ولقد نجم عن هذه الحقيقة ظهور نوعين مختلفين من الإحصاء : النوع المسمى بإحصاء فرمى – ديراك وهو الذى يمكن استخدامه للجسيمات التى تخضع لمبدأ باولى ، والنوع المسمى بإحصاء بوز – أينشتين ، وهو الذى يمكن استخدامه للجسيمات التى لا تخضع لتلك القاعدة . ولقد رسم شكل (٧ – ٢٤ ب ، جـ) من أجل إظهار الفرق بين هذين النوعين من الإحصاء . ولقد كان نشوء موضوع إحصاء الكم وتطوره مثيراً للغاية ، إلا أنه صعب التفسير والإيضاح ، ولا سبيل إلى فهمه إلا باستخدام الألفاظ الفنية والتعبيرات العلمية التى لا يعتادها إلا أهلها .

وعلى ذلك فيمكن أن يقال عند هذا الحد إن كلا النوعين من الإحصاء الحديث يكاد لا يختلف فى شىء عن الإحصاء القديم الطيب عند معالجة ما يصادفنا كل يوم من حالات كدراساتنا للهواء الجوى مثلا . ونحن لا نتوقع فروقاً ذات بال إلا فى الحالات التى على غرار كهرب الغاز فى المعادن وما نطلق عليه اسم نجوم « الأقزام البيضاء » حيث تسيطر على الموقف قواعد فرمى وديراك ، وكذلك فى الغازات العادية عندما تقارب درجة حرارتها الصفر المطلق ، حيث تسود قاعدة بوز – أينشتين . وعلى أية حال فالأمل عظيم فى أن يستمر قراء هذا الكتاب ممن أثار الموضوع اهتمامهم فى دراساتهم للفيزياء الحديثة بطريقة تقدمية أكثر ، وإذا فعلوا ذلك فسوف تتضح لهم المعالم وتسهل مسائل إحصاء الكم عليهم ، وتصبح ناصعة كالبلورة بعد دراسة تستغرق ست سنوات .

الباب الثامن

نواة الذرة والجسيمات الأولية

اكتشاف النشاط الإشعاعى

فى أوائل عام ١٨٩٦ ، عندما نمى إلى أسماع العالم الفيزيائى الفرنسى هنرى بكريل أمر اكتشاف رويتتجن الجديد لأشعة إكس ، قرر أن يرى هل هناك أشعة أخرى على غرار الأشعة السينية هذه تطلقها المواد المشعة ؟ أو تلك المواد المعروف عنها أنها تومض بتأثير أشعة الضوء المتساقطة عليها ؟ واختار لهذه الدراسة بلّورات من معدن يقال له الأورانيل (وهو خليط من سلفات اليورانيوم والبوتاسيوم) وقد كان يقوم بدراسته قبل ذلك من أجل تحديد خواصه المشعة العديدة . ولما كان بكريل يعتقد أن الإشعاع ما هو إلا نتيجة للإضاءة الخارجية ، فقد عمد إلى وضع بلّورات الأورانيل على لوح من ألواح التصوير وهو ملفوف فى ورق أسود * ، ثم تركه على قاعدة النافذة ، وعندما أتم تحميض اللوح بعد تعريضه لمدة ساعات لضوء الشمس ظهرت عليه بوضوح وجلاء بقعة سمراء فى المكان الذى وضعت عليه بلّورة الأورانيل . وكرر الرجل التجربة عدة مرات ، وفى كل مرة كانت البقعة السمراء تظهر واضحة جلية ، حتّى عندما عمد إلى زيادة عدد الأوراق السوداء التى يلف بها لوح التصوير الحساس .

وفى يومى ٢٦ ، ٢٧ من فبراير عام ١٨٩٦ غطيت سماء باريس بسحب كثيفة ، انهمر منها المطر بلا انقطاع ، وكانت الحياة فى الطرقات تتوارى خلف مظلات المقاهى والمطاعم . وتحت تلك الظروف وضع بكريل لوحاً من ألواح التصوير حديث اللف ومعه بلّورة الأورانيل فى درج مكتبه ، وظل ينتظر تحسن الجو . ولكن الشمس لم تظهر إلا فى أول مارس وحتّى ذلك الوقت كانت تواريها السحب . ومع ذلك فقد عرض بكريل لوحه لأشعة الشمس وذهب بعد ذلك إلى

* يحول دون نفاذ الضوء (المترجم) .

الحجرة المظلمة ليرى النتائج . وقد كان شيئاً غير معقول ، فبدلا من الآثار السمراء التى حصل عليها سابقاً عن طريق تعريضه أياماً كاملة لأشعة الشمس المشرقة وجد هذه المرة بقعة سوداء فى لون الفحم حيث وضعت بلّورة الأورانيل . ويلوح إذاً أن سواد اللوح لا علاقة له بتعريض بلّورة الأورانيل لأشعة الشمس ؛ إذ استمرت عملية تسويد اللوح بلا انقطاع طوال الوقت الذى بقيت فيه قطعة الأورانيل فى درج مكتب بكريل المغلق .

لقد كان إشعاعاً نفاذاً مثل الأشعة السينية ، ولكنه كان يصدر تلقائياً دون أى تدخل من الذرات حتى ذرات اليورانيوم الموجودة فى بلّورة بكريل . وحاول الرجل بعد ذلك أن يسخن البلّورة ثم يخفض من حرارتها أو يحيلها إلى مسحوق ويذيبها فى الأحماض . وعالجها بكل ما يستطيع عمله ولكن قوة الإشعاع القريب ظلت كما هى ، وأصبح من الواضح أن الخاصية أو الصفة الجديدة للمادة والتى أطلق عليها اسم النشاط الإشعاعى لا علاقة لها بالطريقة الطبيعية أو الكيموية التى تجمع بها الذرات ، ولكنها صفة مستترة فى أعماق الذرة ذاتها .

عناصر النشاط الإشعاعى

وفى خلال السنين الأولى بعد اكتشاف النشاط الإشعاعى هذا اشتغل عدد كبير من علماء الكيمياء والفيزياء بدراسة الظاهرة الجديدة . وقامت مدام مارى سكلودسكا كورى بتجارب واسعة النطاق على جميع العناصر الكيمائية ومركباتها لاكتشاف النشاط الإشعاعى . ومدام مارى هذه من أصل بولندى وتلقت علومها فى الكيمياء وكانت زوجة لعالم الطبيعة الفرنسى بيير كورى . ووجدت أن الثوريوم يصدر إشعاعاً يماثل إشعاع اليورانيوم . وعند مقارنة النشاط الإشعاعى لخامات اليورانيوم وفلز اليورانيوم لاحظت أن النشاط الإشعاعى لخامات اليورانيوم أكثر خمس مرات مما كان ينتظر لمحتوياتها من اليورانيوم . ويوضح هذا أن الخامات تحتوى على كميات أخرى صغيرة من مواد ذات نشاط إشعاعى أكثر من اليورانيوم

نفسه ، ولفصلها كان يلزم كميات كبيرة من خامات اليورانيوم الغالية الثمن . ونجحت مدام كورى فى أن تحصل دون مقابل من الحكومة النمسوية على طن من البقايا التى ما زالت تحتفظ بالكثير من نشاطها الإشعاعى من مصنع إنتاج اليورانيوم الحكومى فى مقاطعة بوهيميا . وقد تمكنت مدام كورى أن تفصل مادة لها خصائص كيموية مشابهة لخصائص البزموت أطلقت عليها اسم البولونيوم تكريماً لموطنها . وباستمرار العمل اشتقت مادة كيموية أخرى تشبه الباريوم وأطلقت عليها اسم الراديوم ، وكان نشاطها الإشعاعى أكثر من اليورانيوم ألفى ضعف .

وغالباً ما يقع الرواد فى كل من البلدان غير المعروفة وميادين العلم الجديدة فريسة لأخطار خفية يصادفونها فى طريقهم . ولقد كان موت مدام كورى فى سن السابعة والستين ناتجاً عن مرض « الدم الأبيض » ، وهو مرض من المعروف الآن أنه ينتج عن التعرض للإشعاعات النفاذة . وعندما تعلم علماء الفيزياء كيف يحتاطون من الإشعاع ، وضعت أفلام تصوير بين أوراق كتب مدام كورى المعملية . وبعد تحميض الأفلام ظهرت بصمات عديدة سببها رواسب النشاط الإشعاعى على الصفحات التى لمستها أصابع مدام كورى .

وتبع اكتشاف البولونيوم والراديوم اكتشافات لمواد ذات نشاط إشعاعى أعظم بكثير . ومن بين هذه المواد الأكتينيوم ، وهو ذو صلة قريبة باليورانيوم القابل للانقسام الذى قام بفصله ديبرن وجيزيل ، والراديوثوريوم والثوريوم الأوسط اللذين قام بفصلهما أتو هان الذى اكتشف بعد ذلك بأربعين سنة ظاهرة انشطار اليورانيوم .

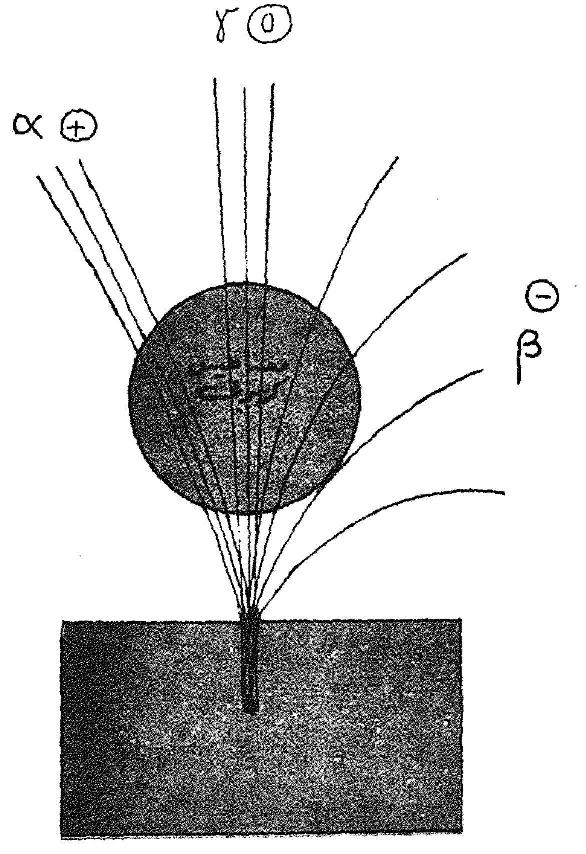
عائلات النشاط الإشعاعى

ومن الناحية الطبيعية كان العمل فى دراسة خصائص الإشعاعات النفاذة يسير فى تقدم . فنى عام ١٨٩٩ اكتشف أرنست رذرفورد ، وله من العمر آنئذ ٢٨ سنة ، أنه توجد ثلاثة أنواع مختلفة من الأشعة :

(١) أشعة ألفا (α) ويمكن إيقافها بقطعة من الورق . وثبت أنها أيونات الهليوم ، وكانت فى الواقع هى نوى ذرات الهليوم ، ولكن رذرفورد لم يعرفها حتى أجرى تجارب التناثر أو التشتت بعد ذلك باثنى عشر عاماً .

(٢) أشعة بيتا (β) ويمكنها اختراق طبقات الألومنيوم التى يبلغ سمكها عدة ملّيمترات، والتى اتضح أنها مجار من الإلكترونات عظيمة السرعة .

(٣) أشعة جاما (γ) وهذه يمكنها اختراق دروع الصلب التى يبلغ سمكها



شكل (٨ – ١)
أشعة ألفا وبيتا وجاما

عدة سنتيمترات . وهى تشبه الأشعة السينية ولكن أطوال موجاتها أقصر . وقد جرت العادة أن يعاد رسم الأشكال فى الفيزياء (بما فيها تلك التى صنفها المؤلف من قبل) على النحو الموضح فى شكل (٨ — ١) الذى تظهر فيه انحرافات أشعة α ، β ، γ بعد مرورها فى مجال مغناطيسى (أو كهربى) . فأشعة ألفا تنحرف إلى اليسار (شحنة موجبة) ، وأشعة بيتا تنحرف إلى اليمين (شحنة سالبة) أما أشعة جاما فتظل بلا انحراف (موجات كهرمغناطيسية) . وعلى أية حال فإنه من المشكوك فيه أن هذه التجربة قد تمت فى أثناء الدراسات الأولى للنشاط الإشعاعى ، (فللحصول على انحراف ملحوظ لجسيمات ألفا لابد من إيجاد مغناطيسات كهربية قوية لدرجة غير عادية . وهذا النوع لم يتم توافره إلا أخيراً) ، فقد ظهر الفرق بين ألفا وبيتا بطرق غير مباشرة أكثر تعقيداً .

وفى بداية عهد التسابق فى هذا الميدان توصل رذرفورد ومساعده فريديريك سودى إلى أن ظاهرة النشاط الإشعاعى مرجعها هو التحول التلقائى لعنصر كيموى إلى عنصر آخر . وينتج عن انبعاث جسيم من جسيمات الفا مع طاقة + ٢ وكتلة ٤ تكوين عنصر موقعه على بعد خانتين على يسار جدول مندليف ، ووزنه الذرى أقل بأربع وحدات . وانطلاق جسم بيتا (ألكترون سالب) ينقل العنصر خانة على يمين جدول مندليف ولا يغير من وزنه الذرى مطلقاً . أما انبعاث أشعة جاما فمصدره الاضطرابات التى تحدث للذرة عن طريق طرد جسيم مشحون سواء أكان سالباً أم موجباً . أما سلسلة التحللات المتلاصقة التى تحدث لأشعة ألفا وبيتا فإنها تنقص أو تقلل نشاط ذرات العناصر الثقيلة ذات النشاط الإشعاعى غير المستقرة ، كما تقلل من عددها ووزنها الذرى حتى تصل أخيراً إلى حالة الاستقرار ، التى هى ذرة الرصاص . وحيث إن تحلل أشعة « ألفا » يغير الوزن الذرى بأربع وحدات فى حين أن تحلل « بيتا » لا يحدث أى تغيير فى الوزن الذرى ، لذا كان من الممكن أن توجد أربع فصائل أو عائلات من العناصر ذات النشاط الإشعاعى .

(١) تلك التى لها وزن ذرى ، عبارة عن مضاعفات الأربعة : ٤ ن ،

(٢) تلك التى لها وزن ذرى ٤ ن + ١

(٣) تلك التى لها وزن ذرى ٤ ن + ٢

(٤) تلك التى لها وزن ذرى ٤ ن + ٣

والوزن الذرى لليورانيوم هو ٢٣٨ ، وبعبارة أخرى ٤ × ٥٩ + ٢ . لهذا فاليورانيوم وكل أعضاء فصيلته المستخلصة بوساطة تحللات الألفا والبيتا تنتمى إلى الفصيلة الثالثة من الفصائل المذكورة . والوزن الذرى للثوريوم هو ٢٣٢ ، وبعبارة أخرى ٤ × ٥٨ ، ولذلك نجد فصيلة الثوريوم إنما تنتمى للعائلة الأولى . أما البروتاكتينوم الذى يتحلل إلى الأكتنيوم والأعضاء الأخرى لفصيلة الأكتنيوم، فوزنه الذرى يعادل ٢٣١ ، وبعبارة أخرى ٤ × ٥٧ + ٣ . ولهذا فهو ينتمى إلى الفصيلة الثالثة . أما الفصيلة ذات النشاط الإشعاعى ووزنها الذرى ٤ ن + ١ (الفصيلة الثانية) فلا وجود لها فى الطبيعة ، ولكن يمكن إنتاجها صناعياً فى الأعمدة الذرية .

وعن طريق العمل الشاق الذى قام به الدارسون الأول للنشاط الإشعاعى تم تكوين الشجرة العائلية لفصائل النشاط الإشعاعى . وتظهر فى صفحة (٣٧١) طريقة تحلل فصيلة اليورانيوم التى تنبت باليورانيوم الأب — ٢٣٨ وبعد ثمانية تحولات لأشعة ألفا وستة تحولات لأشعة بيتا تنتهى بالرصاص المستقر ٢٠٦ .

والرقمان الموجودان فوق كل عنصر مشع يرمزان إلى رقمه ووزنه الذرى ، على حين أن الرقم الذى بأسفله يرمز إلى نصف عمره بالسنين والأيام والساعات والدقائق والثوانى . ويمكن الحصول على طرق تحلل مماثلة للثوريوم والبروتاكتينوم والفصيلة الرابعة التى تنتج صناعياً والتى لا اسم لها .

٢٣٨ — ٩٢
يورانيوم ١
٤,٥ × ١٠^{٩} سنة

٢٣٤ — ٩٠
يورانيوم س ١
٢٤٥ يوماً

٢٣٤ — ٩١
يورانيوم س ٢
١١ دقيقة

٢٣٤ — ٩٢
يورانيوم ٢
٢,٧×١٠^{٥} سنة

٢٣٠ — ٩٠
يونيوم ١
٨,٣×١٠^{٤} سنة

٢٢٦ — ٨٨
راديوم
١٥٩٠ سنة

٢٢٢ — ٨٦
رادون
٣,٨ يوم

٢١٨ — ٨٤
راديوم أ
٣ دقائق

٢١٤ — ٨٢
راديوم ب
٢٧ دقيقة

٢١٤ — ٨٣
راديوم ج
٢٠ دقيقة

٢١٠ — ٨١
راديوم جً
١٣ دقيقة

٢١٤ — ٨٤
راديوم جَ
١٠$^{-٤}$ ثانية

٢١٠ — ٨٢
راديوم د
٢٢ سنة

٢١٠ — ٨٣
راديوم هـ
٥٠ يوماً

٢١٠ — ٨٤
بولونيوم
١٣٧ يوماً

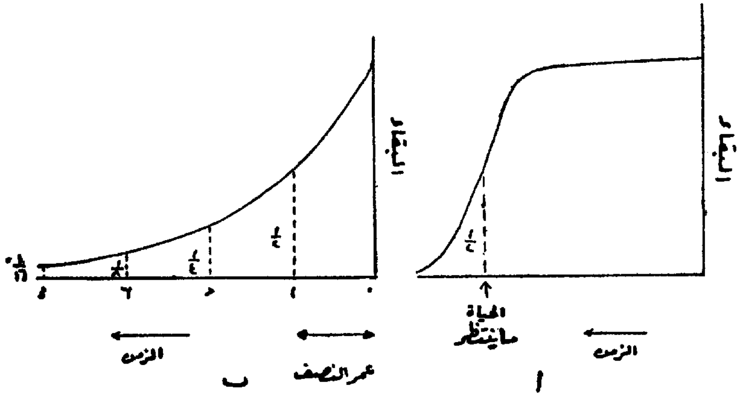
٢٠٦ — ٨٢
رصاص
ثابت

تحلل أشعة الفا

تحلل أشعة بيتا

قانون البقاء

إذا تتبع المرء تاريخ حياة مجموعة كبيرة من الأطفال وصغار الكلاب والبط وأنواع أخرى من الحيوانات المولودة فى نفس اليوم فإنه يجد أنها لا تموت فى نفس الوقت ، فبعضها يعيش وقتاً أطول ، وبعضها يعيش وقتاً أقصر . وإذا رسم المرء النسبة المئوية للأشخاص الذين ما زالوا أحياء من وقت ما فإنه يحصل على منحنى البقاء كما فى شكل (٨ — ٢ ا) ، وفيه يظهر أن هناك « أملا فى الحياة » حتى حوالى ٧٥ سنة للرجل ، و ١٥ سنة للكلب ، وبضع سنين فقط للبط . كما يظهر المنحنى أن هناك فرصاً قليلة نسبياً لموتهم قبل سن معينة ، وكذلك فرصاً قليلة للحياة مدة طويلة بعد بلوغ تلك السن .



شكل (٨ — ٢)

منحنيات البقاء للحيوانات (ا) والنوى (ب)

أما فى حالة الذرات ذات النشاط الإشعاعى فالموقف يختلف تماماً . والفرص لأحد أعضاء فصائل النشاط الإشعاعى الذى تكون حديثاً نتيجة إعادة تشكيل طرأ على سابقه (سواء بوساطة تحول أشعة ألفا أو بيتا) ، ليتشكل بدوره إلى عضو آخر من الفصيلة ، نجدها مستقلة عن فترة الزمن التى مرت منذ تكوينه . ومثل هذا الموقف إنما يحكى وضع الجنود المشتركين فى معركة مستمرة مع العدو ، حيث

تقتل نسبة مئوية كل يوم ، ولا سبيل إلى معرفة أى الطرفين سيكون عدده أكبر غداً . فنى هذه الحالة لا يمكننا الكلام عن « الأمل فى الحياة » ، ولكن لابد لنا من إدخال فكرة جديدة هى فكرة « نصف الحياة » أو بعبارة أخرى فترة من الزمن فى خلالها سوف يقتل نصف عدد الجنود ، أو يتحلل نصف الذرات ذات النشاط الإشعاعى غير المستقرة . والمنحنى الذى يمثل هذه العملية يظهر فى شكل (٨ — ٢ ب) ، وهو كما يسميه علماء الرياضة « منحنى الأس اللوغاريتمى » . فالعناصر ذات النشاط الإشعاعى المختلفة لها أنصاف حياة واسعة التباين : فاليورانيوم مثلا يتحلل بنسبة ٥٠ ٪ فى فترة قدرها ٤,٥ بلايين سنة ، والراديوم فى ١٥٩٠ سنة ، على حين أن نصف ذرات راديوم ج تنشطر خلال واحد على عشرة آلاف من الدقيقة . ووجود الفصائل الثلاث ذات النشاط الإشعاعى مرجعه إلى طول حياة أسلافها ، فاليورانيوم الأول أو ٢٣٨ يورانيوم ٩٢ ، والثوريوم ($١,٣ \times ١٠^{١٠}$ سنة) . ولقد وجد كذلك البروتاكتنيوم الجد (٥×١٠^{٨} سنة) * وهو الذى يمكن مقارنته بعمر الكون .

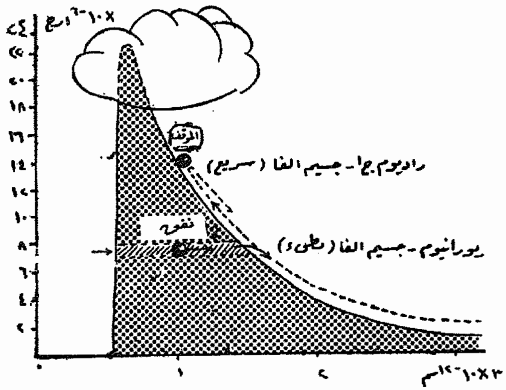
ولا توجد فى الطبيعة فصيلة من النوع ٤ ن + ١ لأن حياة أصل الفصيلة قصيرة لدرجة كبيرة ، ولابد أن كل الفصيلة قد تحللت نهائياً منذ زمن بعيد . وكما رأينا فإن نوى هذه الفصيلة تنتج صناعياً فى الأعمدة الذرية .

الحواجز غير النفاذة

وقد قام بشرح تحول أشعة ألفا بوجه خاص كل من مؤلف هذا الكتاب عندما كان يعمل فى ألمانيا وكذلك فريق رونالد جرنى (استراليا) وإدوارد كوندون (الولايات

* فترة نصف الحياة بالنسبة للبروتاكتنيوم نفسه هى ١٢,٠٠٠ سنة . أما سلف فصيلة الأكتيوم ومنه اشتق البروتاكتنيوم بوساطة تحلل α وتحلل β فحياته $\frac{١}{٢}$ مليون سنة . وليس لها اسم يشير إلى فصيلة الأكتيوم نسباً ولكن لكونه نظيراً لليورانيوم فقد سمى ٢٣٥ — يورانيوم . ولكونه يطلق جسيما من أشعة ألفا فقد تحول ٢٣٥ يورانيوم ٩٢ إلى ٢٣١ يورانيوم ى ٩٠ الذى عن طريق التحلل التالى لأشعة بيتا تحول إلى ٢٣١ باريوم ٩١ . و ٢٣٥ اليورانيوم يحمل اسم فصيلة اليورانيوم ولكنه فى الواقع ينتمى لفصيلة الأكتينيوم (النوع ٤ ن + ٣) وهو اليورانيوم القابل للانقسام الذى جعل من الممكن تطوير صناعة القنابل الذرية والمفاعلات النووية (المؤلف) .

المتحدة) ، وهو يستند على قاعدة من الميكانيكا الموجية . ومن المعروف أن النواة الذرية تكون محاطة بحواجز عالية من القوى الكهربية التى كشفت أول ما كشفت على يد رذرفورد عندما كان يقوم بتجاربه على جسيمات ألفا المتناثرة . فعندما يقترب جسم ألفا من النواة يكون عرضة للتنافر الذى يكون متناسباً مع حاصل ضرب الشحنة النووية فى شحنة جسيم ألفا مقسوماً على مربع المسافة بينهما . وعندما يتصل الجسيم بالنواة تجذبه قوى الترابط بينه وبين الجسيم المكون للنواة وتتشبث به فى الداخل . وفى الشكل (٨ — ٣) يظهر منحنى الجهد الذى يمثل هذين النوعين من القوى ، وهو يشبه القلعة أو الحائل ، وله من الداخل حائط أو جدار شديد الانحدار ومن الخارج حائط بسيط الانحدار . فللوصول إلى النواة يكون على جسيمات أشعة ألفا أن تصعد إلى أعلى ذلك الحائل ثم تتدحرج هابطة إلى داخل النواة . وبالمثل فإن أى جسيم يترك النواة يكون عليه أن يصعد إلى الحائط الداخلى للحائل ثم يهبط متدحرجاً



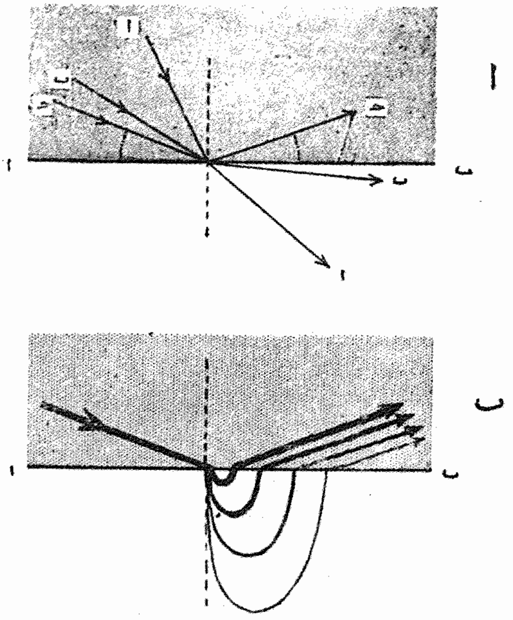
شكل (٨ — ٣)

حاجز جهدى حول نواة اليورانيوم كما أمكن الحصول عليه من تجارب رذرفورد على التناثر .

على انحداره الخارجى . وعند دراسة جسيم أشعة ألفا فى اليورانيوم اكتشف رذرفورد أن الحاجز الذى يحيط بنواة ذلك العنصر لابد أن يكون علوه على الأقل ١٤ × ١٠$^{-٦}$ إرج ، حيث إن جسيمات ألفا السريعة التى تنبعث من راديوم ج ولها مثل تلك القوة لم تبد عليها أمارات الوصول إلى القمة . ومن ناحية أخرى فإن جسيمات ألفا المنبعثة من اليورانيوم نفسه قوتها هى ٨ × ١٠$^{-٦}$ إرج فقط . فكيف يتسنى للجسيمات

الخارجة ذات القدرة البسيطة أن تتدحرج على حاجز أعلى منها عدة مرات ؟ فهذا مستحيل بالطبع كما جاء فى علم الميكانيكا القديم . فلو أن أحداً بنى حاجزاً خشبياً على المنضدة ودحرج عليه كرة قوتها نصف القوة المطلوبة للوصول إلى القمة فإن تلك الكرة سوف تصل دائماً إلى نصف الانحدار ثم تهبط . ولكن الميكانيكا الموجية وصلت بنا إلى نتيجة مباينة ، ولفهمها لابد لنا من إدخال التشابه بين موجات برولى وموجات الضوء . فى البصريات الهندسية اعتاد المرء فكرة « الانعكاس الكلى الداخلى » فكما فى شكل (٨ — ٤ ا) لو أن شعاعاً عند اختراقه للزجاج وقع على السطح الداخلى ا ب بين الزجاج والهواء تحت زاوية مناسبة فإنه ينكسر عند دخوله إلى الهواء واتجاهه الجديد سوف يكون ملاصقاً للسطح الداخلى ا ب . أما إذا كانت زاوية السقوط أكبر من القيمة الحرجة فلن يلج أى ضوء إلى الهواء ، وسوف تنعكس الأشعة كلها على السطح الداخلى . .

وعندما ندرس هذه الظاهرة من وجهة نظر الطبيعة الموجية للضوء سوف يصل



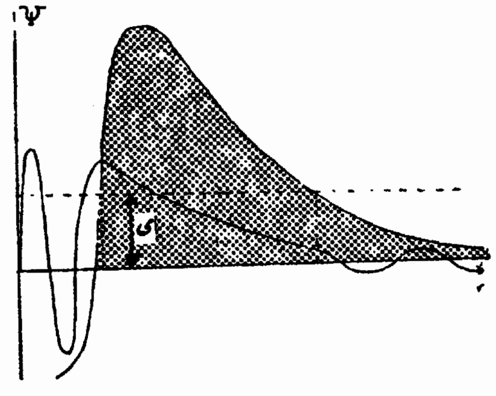
شكل (٨ — ٤)

الانعكاس الكلى الداخلى للضوء تبعاً للبصريات الهندسية (ا) ، والبصريات الموجية (ب)

المرء إلى نتيجة مخالفة تماماً : فسيحدث أن بعض الضوء يدخل الهواء مبتعداً عن السطح الداخلى ا ب ولكنه لا يتغلغل كثيراً ، بل يرتد عند طبقة من الهواء سمكها مثل طول عدد قليل من الموجات .

أما شكل (٨ — ٤ ب) ، وفيه تعد الخطوط مجرد أشعة ضوء ولكن تمثل خط انسياب الطاقة الإشعاعية ، فهو يظهر ما يحدث ، فلو أحضرنا قطعة أخرى من الزجاج بالقرب من السطح الداخلى ا ب فإن بعض خطوط الانسياب المارة فى الهواء سوف يدخل قطعة الزجاج الأخرى . وهذه الظاهرة يمكن ملاحظتها عملياً إذا كانت المسافة بين السطوح الداخلية مساوية تماماً لطول قليل من الموجات الضوئية (أى قليل من الميكرونات) .

وكما أن البصريات الموجية تسمح بالتغلغل أو النفاذ الذى تمنعه تماماً البصريات الهندسية ، فإن الميكانيكا الموجية تساعد الجسيمات المادية على القيام بأعمال مستحيلة إطلاقاً إذا كان علم الميكانيكا القديم سليما مائة فى المائة .



شكل (٨ — ٥)

التغلغل الميكانيكى الموجى لأحد جسيمات ألفا خلال حائل جهدى نووى

وعند وصول جسيمات ألفا إلى داخل النواة تكون فى حالة حركة سريعة جداً ، وتصطدم باستمرار بحوائط حائل الجهد المحيط بها . وفى الوقت الذى تقود فيه موجات دى برولى حركة هذه الجسيمات نجدها تتسرب خلال حوائط الحائل وتجعل من

الممكن لجسيمات ألفا أن تلج النواة ، حتى لو كان من غير الممكن لها أن تصل إلى القمة كما فى شكل (٨ — ٥) . والقدرة على اختراق حاجز الجهد النووى ضعيفة جداً فى حالة نواة اليورانيوم إذ تنجح محاولة من كل ١٠^٣٨ . وحيث إن الحركة داخل فراغ قدره ١٠ —^١٢ سنتيمتراً بسرعة قدرها ١٠^٩ سم فى الثانية فإن جسيم ألفا يصطدم بحائط الحاجز ١٠^٢١ مرة كل ثانية، ويستغرق $\frac{١٠^{٣٨}}{١٠^{٢١}}$ = ١٠^١٧ ثانية ، أو عدة بلايين من السنين حتى ينجح فى الخروج . وفى حالة نواة راديوم ج تكون قوة اختراق الحاجز أعظم وأعلى ، وتنجح محاولة من كل ١٠^١٧ . لهذا فالحياة المناظرة تصبح $\frac{١٠^{١٧}}{١٠^{٢١}}$ = ١٠ ثانية كما هوملحوظ . ويؤدى حساب فترات نصف الحياة للعناصر المختلفة ذات النشاط الإشعاعى على أساس تلك النظرية إلى اتفاق تام مع الأشكال المرصودة .

وبلا جدال فإن ظواهر الميكانيكا الموجية التى من هذا النوع أصبحت ذات أهمية فى عالم الذرات والنوى فقط . وفى حالة التجربة السابق وصفها التى تتدحرج فيها الكرة أعلى الانحدار الخشبى بسرعة غير كافية للوصول إلى القمة ما زالت هناك فرصة لاختراق حاجز الجهد كما يخترق الشبح جدار القلعة ، ولكن هذه الفرص يمكن تقديرها بنحو . ١ — ١٠^٢٧ ، وبعبارة أخرى يرقم له عدد من الأصفار يساوى ١٠^٢٧ بعد العلامة العشرية . وإذا حاول أحد كتابة هذا الرقم فإن أول رقم معنوى سوف يظهر بالقرب من أبعد المجرات التى ترى بالتلسكوب الذى قطره ٢٠٠ بوصة . ولذا لا نحاول دحرجة الكرة أعلى الانحدار .

التركيب النووى والنيوترونات

إن تفسير ظاهرة النشاط الإشعاعى على أنها تحلل تلقائى للنواة الذرية لا يدع مجالا للشك أن النوى ما هى إلا تركيبات ميكانيكية معقدة تتكون من عدة جسيمات. والحقيقة القائلة بأن الأوزان الذرية للنظائر المشعة لكل العناصر تمثل دائماً بأقرب عدد صحيح تدل على أن البروتونات لابد أن تلعب دور أحد المكونات النووية .

ولكن البروتونات وحدها لا تكفى . فمثلا نواة الكربون وزنها الذرى ١٢ ، ولابد أن تحتوى على ١٢ بروتون . ولما كانت شحنة نواة الكربون ٦ فقط فلابد أن توجد ست شحنات سالبة . وقد فرض أن تلك الشحنات الست السالبة قد أخذت من ستة كهارب اتحدت مع الاثنى عشر بروتون لتكوين نواة الكربون . وعلى أية حال فإن افتراض وجود كهارب داخل النواة الذرية كان يؤدى إلى مصاعب جسيمة من وجهة نظر نظرية الكم . ومامن شك فى أن طاقات الأوضاع الكمية لأى كهرب تتزايد بسرعة مع نقص حجم الحيز أو المجال المحدد للكهرب ، فعلى المرء أن يتوقع أن الكهارب التى تتحرك بداخل النواة الذرية يلزم أن يكون لها طاقات تبلغ بلايين الألكترون ڤولت . وتبدو هذه النتيجة الصريحة لنظرية الكم غريبة جداً ، حيث إنه بينما رصدت طاقات من هذا المستوى فى حالة الأشعة الكونية فإن الطاقات الداخلة ضمن الظواهر النووية بلغت الملايين وليس بلايين الألكترون ڤولت . وعندما أخبر نيل بور أرنست رذرفورد عن تلك الحقيقة للحياة ، قرر أن الطريقة الوحيدة لإنقاذ الموقف هى افتراض وجود بروتونات غير مشحونة سميت تجريبيا « النيوترونات » . وبهذا الافتراض لم يكن من الضرورى وجود كهربيات فى النواة الذرية ، ومثلا يمكن أن يكون تركيب نواة الكربون كما يلى :

١٢ كربون $_{٦}$ = ٦ بروتون + ٦ نيوترون .

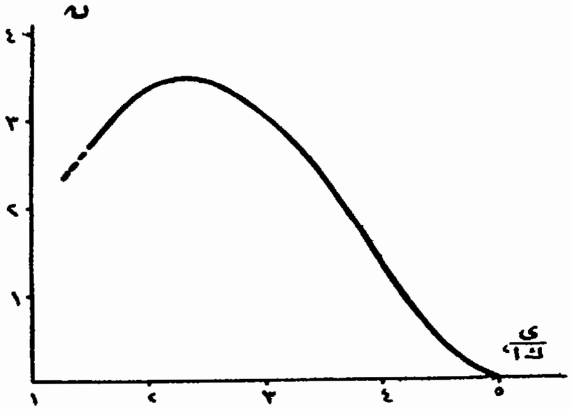
وفى منتصف العشرينات من هذا القرن بدئ فى معمل كافندش برنامج ضخم لطرد تلك النيوترونات التى افترض وجودها من نوى بعض العناصر الخفيفة ، على أمل إعطاء دليل مباشر يدل على وجودها ، ولكن النتائج كانت سلبية وأرجئ العمل فى هذا الاتجاه وتأخر اكتشاف النيوترونات عدداً آخر من السنين . وظهر الدليل فقط فى عام ١٩٣٢ حينما أثبت ج . شادويك تلميذ رذرفورد وهو يدرس الإشعاع الغامض شديد النفاذ (الذى لاحظه فى بادئ الأمر بوث فى حالة قذف أهداف البريليوم بأشعة ألفا) وبين أنه إنما يتكون من مجموعة من الجسيمات المتعادلة الشحنة مع كتلة مماثلة تماماً لكتلة البروتون . وعلى هذا فإنه بعد الفشل الأول ولدت النيوترونات أخيراً داخل جدران معمل كافندش .

تحلل أشعة بيتا والنيوترينو

فى الوقت الذى يمثل فيه انبعاث أشعة ألفا تحللا نووياً حقيقياً ينجم عنه ناتج ذو وزن ذرى صغير ، نجد أن انطلاق أشعة بيتا ليس إلا ضابطاً كهربياً للنواة الذرية بسبب انبعاث جسيم أو أكثر من جسيمات ألفا . وقد رأينا فى مناقشة الجزء السابق أن النواة الذرية تتكون من البروتونات والنيوترونات وأنه فى حالة العناصر الثقيلة يفوق عدد النيوترونات أو يزيد على عدد البروتونات ، فمثلا فى ٢٢٦ راديوم ٨٨ يكون عدد النيوترونات ٢٢٦ – ٨٨ = ١٣٨ ، ويكون عدد البروتونات ٨٨ فقط وتكون النسبة $\frac{١٣٨}{٨٨}$ = ١,٥٦٨ . ونواة ٢٢٢ رادون ٨٦ تتكون بتحلل ألفا للراديوم وعدد نيوتروناتها ١٣٦ والبروتونات ٨٦ وتكون النسبة $\frac{١٣٦}{٨٦}$ = ١,٥٨١ . وعلى ذلك فإنه فى عملية تحلل ألفا تتزايد نسبة النيوترونات على البروتونات ، وبعد عدة خطوات من تحلل ألفا يمكن أن تصبح النسبة أكبر من المعقول بسبب التعايش السلمى بين النوعين من الجسيمات . وفى هذه الحالة يحول النيوترون نفسه إلى بروتون ، وذلك بانبعاث كهرب سالب من جسيم بيتا . ومن الجدول المعطى على صفحة (٣٧١) يمكن ملاحظة أن تحولات بيتا إنما تحدث مزدوجة . وهذا مرجعه إلى أن النيوترونات والبروتونات فى النواة عرضة لمبدأ باولى ، مثلها فى ذلك مثل الكهارب الذرية . وكل مستوى كمى يحتله اثنان منهما (مع لف مضاد) . وعلى هذا فإنه عندما يصبح المستوى غير مستقر يتعرض اثنان من الجسيمات لتحولات بيتا حيث يتبع أحدهما الآخر .

وفى سنة ١٩١٤ كان عالم الطبيعة البريطانى الشاب جيمس شادويك يعمل فى جامعة برلين تحت إشراف عالم الطبيعة الألمانى المرموق فرتز جيجر (مخترع عداد جيجر) . وكانت مهمته دراسة التحلل الطيفى لأشعة بيتا التى تنبعث بوساطة المواد ذات النشاط الإشعاعى المختلفة ، والتى تبدو أنها تختلف أساساً عن أشعة ألفا وجاما ، وذلك بإظهار توزيع مستمر لطاقات تحركها مبتدئة غالباً من الصفر حتى القيم العليا جداً – شكل (٨ – ٦) . وعندما اكتمل عمل شادويك وأرسل للنشر

فى نهاية العام نشبت الحرب العالمية الأولى وألقى القبض على شادويك على أنه عدو ، وزج به فى معسكر الاعتقال ، ومرت السنة الأولى من المعتقل كئيبة ، حيث إن الشاب الموهوب لم يستطع كسب أصدقاء من زملائه المعتقلين ، الذين كانوا غالباً من رجال الأعمال والتجار المسافرين . ثم بعد أن وقعت معركة فى مكان ما فى فرنسا



شكل (٨ – ٦)

طيف أشعة بيتا للانديوم ١١٤ . رسم عدد الكهارب (ن) ضد طاقتها ى معبراً عنها بوحدات ك ٢ا

ظهر فى المعسكر معتقل جديد وكان يدعى س . د اليس وهو ضابط لامع من فرقة هايلاند التابعة للتاج ، وقد أسر فى أرض المعركة ، وأصبح البريطانيان صديقين . ولقتل الوقت بدأ شادويك يعلم اليس الحقائق الخاصة بالطبيعة النووية . وعندما انتهت الحرب عاد الاثنان إلى إنجلترا وسجل اليس كخريج من جامعة كمبردج حيث كان يحاضر شادويك . وبعد سنوات قلائل نشر اليس بحثاً يمثل إضافة هامة لعمل شادويك .

ومن التعليلات الممكنة للطاقة المستمرة للتحليل الطيفى لأشعة بيتا الخسائر الواسعة النطاق فى الطاقة التى تتكبدها جسيمات بيتا فى أثناء انطلاقها من المواد ذات النشاط الإشعاعى التى تتولد فيها . وابتكر اليس تجربة بارعة يمتص بها كل أشعة بيتا المنبعثة بوساطة المواد ذات النشاط الإشعاعى فى قطعة رصاص ، وكانت الحرارة الناتجة تقاس بدقة . وأظهرت نتيجة تلك التجربة أن الانطلاق الكلى لطاقة كل جسم

كانت مساوية لمتوسط طاقة الكهارب فى الطيف المستمر ، وبذلك ثبت عدم وجود أى فقد فى المادة ، وهكذا واجه علماء الفيزياء موقفاً متناقضاً : فبينما تكون لأشعة ألفا المنبعثة من تحولات النشاط الإشعاعى طاقات محددة تماماً ، وهى التى تكون مساويةِ للفروق بين محتويات الطاقة فى النواة الأم والنواة البنت ، نجد أن طاقات أشعة بيتا تختلف بشكل واسع . وما يحدث لفرق الطاقة بين نواتى نفس العنصر ذى النشاط الإشعاعى هو أن إحداهما تطلق أشعة بيتا بسرعة والأخرى ترسلها ببطء . وذهب نيل بور الذى أقلقه الموقف المتناقض إلى أنه ربما لا ينطبق قانون بقاء الطاقة فى حالة تحللات بيتا ذات النشاط الإشعاعى ، وأنه فى حالة انبعاث جسيم بطىء من جسيمات بيتا ربما تختفى كمية معينة من الطاقة من الهواء الرقيق . أما فى حالة انبعاث جسيم سريع من جسيمات بيتا فيكون من الممكن تولد كمية إضافية من الطاقة من لا شىء . وتبعاً لهذه النظرية فإن قانون بقاء الطاقة فى العمليات النووية الأولى ينطبق على المتوسط فقط ، وعلى هذا يجعل من المستحيل بناء آلة دائمة الحركة من النوع الأول تقوم على عملية تحلل النشاط الإشعاعى (انظر الباب الرابع) .

أما ولفجانج باولى الذى كان متحفظاً فى آرائه فيما يتعلق بهذا الموضوع فقد تقدم برأى بديل من الممكن أن يوازن بقاء الطاقة فى العمليات النووية ، إذ جعل من الممكن أن يصحب انبعاث جسيم بيتا انبعاث (جسيم غامض) آخر يعرب عن الملاحظة ويفقد توازن الطاقة . وإذا افترض الإنسان أن « لصوص بغداد » النوويين هؤلاء ليست لهم شحنات كهربية ، وأن كتلتهم صغيرة ، أو قل أصغر من كتلة الكهرب ، إذن فمن الممكن حقاً أن يتخطوا بسهولة الحواجز التى وضعها فى طريقهم علماء الطبيعة ومعهم نصيبهم من الطاقة . وقد سمى باولى هؤلاء اللصوص الذين افترضهم بالنيوترونات (حدث هذا قبل أن يكتشف شادويك فى عام ١٩٣٢ الجسيمات المعروفة الآن باسم « نيترونات »)، ولكن هذه المناقشات ظلت فى حيز المخاطبات والمراسلات الخاصة ، ولم يعد نشر الاسم عن طريق طبعه فى مجلة علمية . وبعد اكتشاف شادويك للنيترونات كان أنريكو فرمى يعمل أستاذاً بجامعة روما فى ذلك الوقت ويعلق على بحث شادويك فى ندوة علمية . وعندما سأله بعض الحاضرين عما إذا كانت نيترونات شادويك هى نفسها الجسيمات التى اعتاد باولى

الكلام عنها أجاب فرمى : « لا نيوترونات شادويك سونو جراند . لونيوترون دى باولى إيرانو بيكولى ، أجلى ديفونو ستار كياما نيوتريني »* . (وكلمة « نيوترينو » بالإيطالية معناها مصغر « نيوترون »).

وحيث قد جرت العادة فى هذا الكتاب على الاستشهاد ببعض القصص عن علماء الفيزياء المشهورين ، وحيث إن أنريكو فرمى يعتبر أحد علماء الفيزياء المرموقين فى عصرنا ، فهناك قصة عنه تقوم على أساس من كلماته . فلقد اختير بسبب اكتشافاته الأولى فى ميدان الفيزياء عضواً فى أكاديمية العلوم الملكية الإيطالية ومنحه بنيتو موسولينى لقب (اكلنزا) . وذات مرة كان يقود عربته الصغيرة لحضور اجتماع كان موسولينى نفسه سيتكلم فيه ، ولهذا كانت الأبواب الرئيسية المؤدية لقاعة الاجتماعات يحرسها اثنان من رجال الكارابينارى ، فاعترضا بأسلحتهما سبيل سيارة فرمى الصغيرة وسألاه من يكون . وفكر فرمى أنهما لن يصدقاه إن قال إنه (اكلنزا) لأن كل (اكلنزا) إنما تبدو عليه سمات العظمة ويركب عربة كبيرة يقودها سائق . لهذا ضحك وقال لرجال الكاربينارى إنه سائق الأكلنزا فرمى . وقد دخلت تلك الحيلة عليهما وسمحا له بالدخول لينتظر سيده حتى يخرج من الاجتماع .

وعند العودة لموضوع النيوترونات يجب على المرء أن يقول إن هذا الجسيم كان مخادعاً إلى حد كبير ولم يستطع علماء الفيزياء الذين حاولوا التمكن منه إلا رؤية الخسائر التى يسببها ، ولكنهم لم يروا الجسيم نفسه . وفى عام ١٩٥٥ تمكن فريد رينز وكلويد كوان من معمل لوس الأموسى العلمى أن يمسكا به . وأوسع مصدر للنيوترونات يتمثل فى الأعمدة الذرية ، حيث تسبح النيوترونات الذرية نتيجة تحلل بيتا للنواتج الانشطارية التى تتكون من التفاعل المسلسل ؛ فى الوقت الذى توقف فيه الحواجز المحيطة بالعمود أكثر أشعة جاما نفاذاً وأسرع النيوترونات ، نجد أن النيوترونات تخترق الحاجز بسهولة . وللكشف عليها وضع رينز وكوان خارج الحاجز إناء كبيراً ملىء بالهيدروجين وأحيط ببطاريات من عدادات الجسيمات المختلفة . وكان المتوقع أن يصطدم نيوترينو صغير سريع مع بروتون ويطرد كهرباً موجباً فيحول

---

* "No, le neutrone di Chadwick sonno grande. Le neutrone di Pauli erano Piccoll; eglidevono Star chiamato neutrini".

البروتون إلى نيوترون : نروتون + نيوترينو ← نيوترون+بوزترون. ولكن الاحتمال النظرى المقدر لتلك العملية كان صغيراً جداً . وللكشف عن تلك العملية استعملا عدادات للنيترونات والبوزترونات مرتبطا بعضها ببعض بطريقة تجعلها تعطى إشارة فقط إذا اصطدمت فى نفس الوقت بنيترون أو بوزيترون . وحيث إن احتمال المصادفة كان ضعيفاً لذا فإن الاصطدام فى نفس الوقت لا يحدث إلا من التفاعل المذكور سابقاً . وعند إجراء التجربة والعمود فى كامل تفاعله كانا يحصلان على عدة إشارات كل دقيقة . ولكن عندما توقف العمود انخفضت الإشارات بسرعة . ومن ملاحظتهما اكتشف أن الجزء الفعال فى العملية والذى فيه يحول النيوترينو البروتون إلى كهرب هو نقط ١٠–٤٣ سم٢ وهذا معناه أنه لقطع وطأة حزمة النيوترينو إلى النصف يجب أن يستعمل المرء حزاماً من الماء سمكه مئات السنين الضوئية .

ونظرية تحلل النيترون – بروتون مع انبعاث كهرب ونيوترينو التى قام بها فرمى تتفق إلى درجة كبيرة مع الحقائق العملية الخاصة بتحلل بيتا ، كما أنها تستعمل نموذجاً لكل نظريات التحلل التى ظهرت أخيراً فيما يتعلق بعمليات التحول المختلفة بين الجسيمات الأولية .

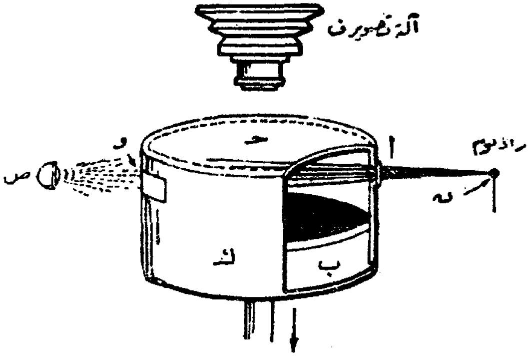
التفجيرات الأولى للنواة

منذ اللحظة التى أدرك فيها رذرفورد أن ظاهرة النشاط الإشعاعى تمثل تحولا تلقائياً لعنصر كيموى إلى آخر تملكته الرغبة فى تفجير النواة الذرية لبعض العناصر المستقرة وتحويلها إلى عناصر أخرى ، ويكون بهذا قد حقق حلماً كبيراً من أحلام الكيمويين . وعندما نشبت الحرب العالمية الأولى سنة ١٩١٤ طلبت البحرية البريطانية إلى رذرفورد – بعد أن أصبح مديراً لمعمل كافندش – أن يحيله إلى مركز للبحوث الحربية لتطوير الوسائل الحربية المضادة للغواصات لاستخدامها ضد الغواصات الألمانية . ورفض رذرفورد بدعوى أن لديه عملا أكثر أهمية وهو تفجير نواة الذرة . وحقاً فإن رذرفورد هذا مهد الطريق لإنتاج أكثر أسلحة الحرب قوة وهى القنابل الذرية والهيدروجينية ، ولكن ليس صحيحاً أن رذرفورد تنبأ بهذا التطور . والواقع أن رذرفورد قبل موته بفترة قصيرة فى سنة ١٩٣٧ اشترك فى مناقشة حامية مع عالم طبيعة

هنغارى يدعى ليوزيلارد عن احتمال إطلاق الطاقة الذرية على نطاق واسع وأصر على عدم إمكان ذلك . ولإثبات رأيه توجه زيلارد إلى مكتب براءات الاختراع واستخرج براءة عن التفاعلات النووية على نطاق واسع . وبعد ثلاث سنوات اكتشف انشطار نواة اليورانيوم ، وفى خلال ست سنوات أخرى فجرت أول قنبلة ذرية على هيروشيما وأنهت الحرب العالمية الثانية . ودون شك كان رذرفورد يراقب هذا التطور من مرقده بين السحب وهو يستمع إلى الموسيقى . ولكن ذلك كان أكثر مما كان يفكر فيه الرجل العجوز . ثم ماذا ؟ إن هؤلاء الناس يستعملون اكتشافاتى الآن فيما يقتلون به بعضهم بعضا .

ولكن إذا رجعنا إلى عام ١٩١٩ فلابد أن نرى ما كان يعمل رذرفورد من أجل تفجير النواة . وحيث إن حصن تنافر كولوم المحيط بالنواة الذرية يتزايد كلما تحرك الفرد فى جدول مندليف الخاص بالعناصر ، فقد أصبحت أحسن فرصة هى قذف أخف النوى . وكذلك فإن جسيمات الغازات ذات الطاقة العالية الناتجة عن التحلل السريع للعناصر ذات النشاط الإشعاعى قد تقوم بعمل أفضل من ذلك الذى تقوم به الجسيمات ذات الطاقة البطيئة . لهذا قرر رذرفورد أن يطلق جسيمات ألفا الصادرة عن الراديوم على نواة غاز النتروجين ، ومما أدخل السرور على نفسه ملاحظة أنه بالإضافة إلى جسيمات ألفا التى تطلقها نواة النتروجين فهناك أيضاً جسيمات قليلة من نوع آخر تتحرك بسرعة عرفها رذرفورد على أنها بروتونات . ولقد تمت أولى ملاحظات رذرفورد عن طريق الوميض ، ولكن سرعان ما أصبحت دراسة التحولات النووية سهلة وذلك باستعمال الاختراع الباهر المعروف باسم « غرفة ولسون » أو « غرفة التكثيف » التى اخترعها ت . ر . ولسون الذى ذكرت اختراعاته فى فصل سابق فيما يتعلق بتجارب ج . ج . تومسون . وهى تقوم على أساس أن كل جسيم ذى شحنة كهربية يتحرك بسرعة عبر الهواء ينجم عنه تأين خلال مساره . فإذا كان الهواء الذى تعبره تلك الجسيمات مشبعاً ببخار الماء فإن الأيونات الناتجة تكون « نوى تكاثف » لنقط صغيرة من الماء ، ونرى خطوطاً طويلة ورفيعة من الضباب تمتد على طول مسار الجسيمات . وفى شكل (٨ — ٧) يظهر رسم « لغرفة التكاثف » ، وهى تتكون من أسطوانة معدنية ك قمتها من الزجاج الشفاف ج ولها مكبس ب وواجهتها

العليا مطلية بالأسود . والهواء فيما بين المكبس والقمة الزجاجية مشبع داخلياً ببخار الماء ومضاء بمصدر ضوئى قوى عن طريق فتحة و . ولنفرض الآن أن لدينا على طرف إبرة كمية صغيرة من مادة ذات نشاط إشعاعىن تقع على مقربة من الفتحة ا .



شكل (٨ — ٧)
طريقة غرفة التكاثف التى استخدمها ت . ر . ولسون

فالجسيمات المنبعثة من الذرات ذات النشاط الإشعاعى سوف تطير عبر الغرفة مؤينة الهواء على طول مسارها . وعلى أية حال فحيث إن الهواء ليس مشبعاً تماماً ببخار الماء فلن يحدث أى تكثيف ، وبسرعة تتحد الأيونات الموجبة والسالبة الناتجة عن الجسيمات العابرة وينتج عن ذلك جزيئات متعادلة كهربياً . والآن لنفرض أن المكبس جذب إلى أسفل بشدة لمسافة ما ، فسوف يتمدد الهواء المحصور بين المكبس والقمة الزجاجية محدثاً انخفاضاً فى درجة الحرارة ، ومسبباً تكثيف بخار الماء بنفس الطريقة التى بها تتكون السحب كنتيجة لارتفاع الهواء الرطب فى جو الأرض . ولكن حيث إن تكثيف بخار الماء يساعده إلى درجة كبيرة وجود الأيونات الناجمة عن الجسيمات المشحونة التى تعبر الغرفة فى تلك اللحظة ، فإنه سوف يحدث تكوين الضباب على طول مسار الجسيمات وسوف تبدو بوضوح خطوط طويلة رفيعة من الضباب على المساحة الخلفية السوداء فى حزمة الضوء المستخدمة للإنارة . وهذه الصورة يمكن رؤيتها مباشرة عن طريق النظر خلال القمة الزجاجية أو يمكن تصويرها بوساطة آلة تصوير ف .

وتعرض اللوحة رقم (٥) العليا أول صورة لتحلل نووى صناعى أخذت عام

١٩٢٥ بوساطة تلميذ رذرفوردب.م.س . بلاكت ، ويبدو فى الصورة عدد وفير من المسارات المتفرقة من نقطة بعيدة عن حافة الصورة ، وهى ناجمة عن جسيمات ألفا التى تطلقها مادة ذات نشاط إشعاعى موضوعة هناك . هذه المادة تمثل خليطاً من راديوم ج وراديوم جَ الذى تكون من راديوم ج بوساطة عملية تحول ألفا . فجسيمات ألفا الصادرة عن راديوم ج تتحرك ببطء نسبياً ويوقفها الهواء فى منتصف الصورة،أما جسيمات ألفاالصادرة عن راديوم جَ والتى تحيط بأسرع الجسيمات المنبعثة بوساطة العناصر ذات النشاط الإشعاعى، فإنها يمكنها اختراق أسمك طبقات الهواء ، وينتهى مسارها عند نهاية الصورة . وفى منتصف الصورة من أعلى نرى شوكة ناتجة عن تحول نواة النتروجين من تأثير جسيم ألفا . أما المسار الطويل الرفيع المتجه إلى اليسار فينتمى إلى بروتون مطرود من النواة ، فى حين أن المسار الغليظ المتجه إلى أعلى ظهر أنه ناتج عن نواة أكسيجين سريعة الحركة . والتحول الكيموى الذى يحدث هنا يمكن تمثيله بالمعادلة : ^{14}أزوت$_{7}$ + ^{4}هيليوم$_{2}$ ← ^{17}أوكسيجين$_{8}$ + ^{1}أيدروجين$_{1}$ ، حيث إنه تبعاً لما هو متفق عليه يدل العدد السفلى على الرقم الذرى ويمثل العدد العلوى الوزن الذرى .

والذرة ^{17}ا$_{8}$ تمثل أثقل النظائر المشعة للأكسوجين العادى ^{16}ا$_{8}$ ، وهى موجودة بكميات صغيرة فى الهواء الجوى . وبقياس طاقات ^{1}يد$_{1}$ و ^{17}ا$_{8}$ الناتجة عن هذا التفاعل والتى يمكن القيام بها على أساس طول مساراتها ، يجد المرء أنها أقل من الطاقة الابتدائية لجسيم ألفا بحوالى ١,٢٦ مليون ألكترون فولت ، لأننا نجد أن الكتل تتماثل على كلا الجانبين لمعادلة التفاعل السابقة ، على النحو الآتى :

هيليوم^{4}	=	٤,٠٠٣٨٨	أيدروجين^{1}	=	١,٠٠٨١٣
أزوت^{14}	=	١٤,٠٠٧٥٥	أوكسيجين^{17}	=	١٧,٠٠٤٥٣
		١٨,٠١١٤٣			١٨,٠١٢٦٦

وعلى هذا فإن موازنة الطاقة تكون سلبية فى هذه الحالة — ٠,٠٠١٢٥ وحدة ، وهو رقم يعادل — ١,١٦ مليون ألكترون فولت . . وهو يتفق فى حدود الأخطاء التجريبية مع الرقم السابق ذكره عن فقد الطاقة فى التفاعل . والقياس الذى من هذا

النوع يمثل أول إثبات تجريبي مباشر لقانون أينشتين عن تكافؤ الطاقة والكتلة . وعلى ذلك فإنه تنطلق فى هذا التفاعل الطاقة النووية إلا أنها تفقد . وعلى أية حال فإنه من مجالات أخرى مثل إطلاق ألفا على الألومنيوم تكتسب كميات كبيرة من الطاقة النووية .

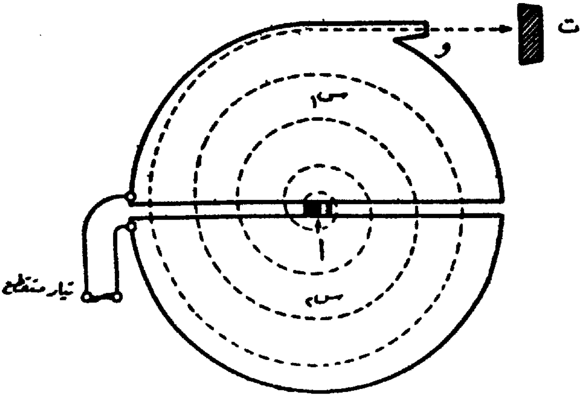
وحيث إن جسيمات ألفا هى القذائف الثقيلة الوحيدة الناتجة عن عناصر طبيعية ذات نشاط إشعاعى ، فقد اقتصر العمل فى التحولات النووية الصناعية على هذا النوع من التفاعل فقط . وفى عام ١٩٣٩ عندما كان مؤلف الكتاب يعمل مع رذرفورد فى كمبردج فى الدراسة لنظرية حائل الجهد ، وجد بالحساب أن البروتونات ربما تكون أحسن قذائف سواء لصغر شحناتها الكهربية ، أو لصغر كتلتها . وفى الواقع أظهرت الإحصاءات أن البروتونات التى أكسبت عجلات تزايدية تحت تأثير جهد كهربى يعادل مليون فولت وتتحرك بطاقة أقل عدة مرات من جسيمات ألفا الصادرة من راديوم ج سوف تنتج تحللا ملحوظاً فى عناصر الضوء . وطلب رذرفورد من تلميذيه ج كوكروفت وا . ت . س. والتون أن يبنيا آلة ذات ضغط كهربى عال، بحيث يمكنها إنتاج حزم من البروتون لها تلك الطاقة. وفى سنة ١٩٣١ تم تشغيل أول « محطم للذرة » . وبتوجيه حزمة البروتون إلى هدف من الليثيوم أثبت كل من كوكروفت ودالتون أنه فى كل تصادم ناجح ينطلق فى اتجاه مضاد زوج من جسيمات ألفا المنبعثة حديثاً من نقطة التصادم . ومن الواضح أن التفاعل كان على النحو الآتى :

ليثيوم$_{3}^{7}$ + أيدروجين$_{1}^{1}$ ← ٢ هيليوم$_{2}^{4}$. وعند إحلال الليثيوم محل البورون لاحظا شوكة ثلاثية (اللوحة رقم ٥ السفلى) . وهذا معناه أنه بالاصطدام مع بروتون تكسرت نواة البورون إلى ثلاث قطع متساوية : بورون$_{5}^{11}$ + أيدروجين$_{1}^{1}$ ← ٣ هليوم$_{2}^{4}$.

وتبع عمل كوكروفت و والتون الريادى تطوير كبير للجسيمات المعجلات ، يقوم أساساً على عبقرية فذة وتسمى إحدى محطمات الذرة « فان دى جراف » نسبة إلى مخترعه ، ويقوم على أساس مبدأ بسيط من مبادئ علم الكهربية الستاتيكية ، وهو أنه إذا أدخلت شحنة كهربية من فتحة إلى داخل محيط معدنى أجوف فسوف

تتوزع على سطحه الخارجي. وهذا حقيقي فإن التنافر بين الكهارب التي تدخل سوف يدفعها بقدر الإمكان بعيداً بعضها عن بعض . وتتكون آلة فان دي جراف من كرة كبيرة من المعدن المعزول وسير مشحون باستمرار من الخارج ويفرغ شحنته بعد ولوجه في الكرة . وبالرغم من أن الضغوط الكهربية التي يمكن أن تحدثها آلة فان دي جراف تكون مقصورة على ملايين قليلة من الڤولتات ، فلقد تطورت إلى أجهزة محكمة قوية تناسب الكثير من أعمال المعامل .

وثمة اختراع آخر أكثر براعة لتعجيل الجسيمات النووية اخترعه ارنست أورلاندو لورانس الذي يسمى باسمه معمل الإشعاع بجامعة كاليفورنيا الآن ، وهو يقوم على أساس مخالف تماماً ويستعمل معجل مضاعف لجسيمات مشحونة تتحرك على دائرة في مجال مغناطيسي . وفي شكل (٨ — ٨) يظهر مبدأ السيكلترون . وهو يتكون أساساً من غرفة دائرية من المعدن مقسمة إلى نصفين س ١ ، س ٢ وموضوعه بين



شكل (٨ — ٨)
مبدأ عمل السيكلترون

قطبي مغناطيس كهربي قوى جداً ويرتبط جزءا الغرفة س١ ، س ٢ بمصدر جهد كهربي عال متقطع حتى يتسنى للمجال الكهربي على طول الشق الفاصل بينهما أن يغير اتجاهه دورياً . أما أيونات العنصر التي تستعمل كقذائف ذرية فتحقن في مركز الصندوق ا بسرعة منخفضة نسبياً وتنحني مساراتها في دوائر صغيرة بوساطة

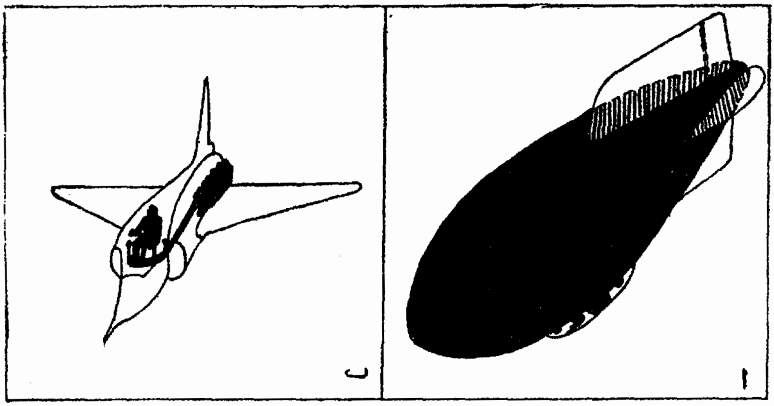
مجال المغناطيس . أما فكرة السيكلترون فهى أنه بالنسبة لمجال مغناطيسى معين لا علاقة للفترة اللازمة ، لكى يعمل جسيم مشحون كهربياً دورة كاملة فى مساره الدائرى بالسرعة التى يتحرك بها هذا الجسيم . فحيث إن الزيادة فى نصف قطر الممر وطول المسار الدائرى تكون متناسبة مع الزيادة فى السرعة إذن فالوقت اللازم للدورة واحدة يظل كما هو .

وإذا سارت الأمور على أساس أن زمن الدورة لأيون يحقن فى حقل مغناطيسى مساو لفترة الضغط المتقطع الناتج عن المصدر ، فإن الجسيمات عند وصولها إلى الحواف بين جزئى الغرفة س ١ ، س ٢ سوف تكون عرضة فى كل وقت لقوة كهربية تعمل فى نفس الاتجاه الذى تتحرك فيه الجسيمات . وعلى ذلك ففى كل مرة يمر فيها الأيون فى هذا الفاصل سوف يحصل على عجلة إضافية ، وتزداد سرعته تدريجياً . وبتجميع السرعة سوف تتحرك الأيونات على طول مسار حلزونى غير متعرج ، وأخيراً تقذف من الفتحة وفى اتجاه الهدف ت .

وفى الصورة العليا من اللوحة رقم (٦) يظهر السيكلترون الذى ما زال تحت التطوير فى جامعة كلورادو . ومن المتوقع أن ينتج حزماً من البروتونات طاقتها ٣٠ مليون إلكترون ڤولت . ويمكن أن نرى بوضوح الجزء الأعلى من المغناطيس الكهربى والحزمة المساعدة . ويمثل بيفاترون جامعة كاليفورنيا ، وكزموترون لونج أيلاند تطويراً أكبر لمبدأ السيكلترون — الجزء الأسفل من اللوحة رقم (٦) — ودائماً يتكلم علماء الفيزياء عن « المقاطع الفعالة » أو المقاطع عند وصف نتائج تجاربهم الخاصة بالتحولات النووية التى يحدثها قذف مواد مختلفة بقذائف نووية سريعة الحركة . ولفهم هذه الفكرةدعنا نتدبر مسألة مدفعية مضادة للطائرات تحاول إسقاط طائرة معادية . إذا كان العدو على درجة من الغباء حتى يرسل منطاداً شكل (٨ — ٩ ا) فإن أى إصابة فى جسمه سوف تكون قاضية . وعلى هذا تكون المقاطع الفعالة مساوية للمقاطع الهندسية للمنطاد . ومهما كانت الظروف فإنه فى حالة الطائرة س فى شكل (٨ — ٩) فإن شظايا القذيفة يمكن أن تخترق أجزاء كثيرة من هيكلها دون أن يحدث قتل . وهناك مناطق قليلة فقط مثل رأس وجسم الطيار وأجزاء هامة من المكنة والدفة التى لابد من ضربها لإسقاط الطائرة ، والمنطقة الجانبية المركبة من تلك النقط تعرف باسم « المقطع الفعال » . ويمكن أن يكون أصغر بكثير من الشيء نفسه .

وعلى هذا كان المقطع القاتل فى أخيل * مثلا مقصوراً على قليل من البوصات المربعة فى كعب قدمه اليسرى .

وعند تقدير احتمال القتل ، سواء أكان من الطائرة المعادية أم النواة الذرية ، فما يهم المرء فقط هو تكسير المنطقة الجانبية كلها التى يجب ضربها . وليس من الضرورى أن يكون الضرب فى المواقع المضبوطة للنقط الحساسة . والموقف هنا مماثل لموقف اثنين من المبارزين ؛ أحدهما رفيع جداً ، والآخر بدين جداً . فالبدين



شكل (٨ — ٩)

« المقطع القاتل » (المساحة السوداء) لمنطاد (ا) ولطائرة (ب) بفرض أن خزانات الوقود للبترول تلحم تلقائياً عند اختراقها .

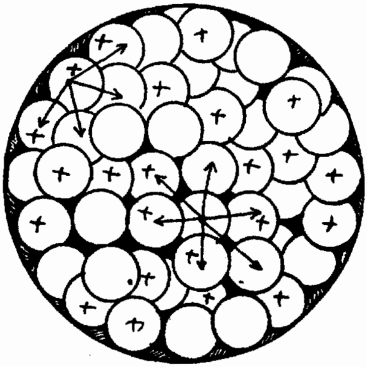
يعارض بأن الموقف ليس عادلا ، حيث إنه يمثل منطقة أكثر أهدافاً للطلقات من خصمه ، فيقول الرجل الرفيع : « حسناً دع مرافقك يرسم بالطباشير ظلى على معطفك والضربات الخارجة عن هذا الخط لا تعد » . ويبلغ طول نصف قطر النواة الذرية نحواً من ١٠$^{-١٢}$ سم ، بحيث يكون مقطعها الهندسى حوالى ١٠ $^{-٢٤}$ سم^{٢} ، ومقطع ١٠ $^{-٢٤}$ سم ٢ يعرف باسم (البارن barn) لأنه كبير . ولو أن النواة شقت فى كل مرة تصطدم فيها فإن المقطع الفعال يكون حوالى بارن واحد . وعلى أية حال لو كان هناك لسبب أو لآخر إصابة واحدة من كل مائة صدمة فنحن نقول إن

* بطل الإلياذة (المترجم) .

المقطع الفعال هو ٠,٠١ بارن أو ١٠$^{-٢٦}$ سم ٢ . وفى مناقشة أخرى سوف يجد القارىء أمثلة لمقاطع أصغر بكثير فى عمليات القذف النووية .

التركيب النووى والاستقرار

فى الوقت الذى تظل فيه الكهارب النووية طائرة فى الفضاء حرة طليقة محتفظة بالمسافات يضاعف قطرها آلافاً عديدة من المرات ، فإن البروتونات والنيوترونات تعبأ مثل ما يعبأ سمك الرنجة فى براميل شكل (٨ — ١٠) . وعلى هذا فإنه فى الوقت الذى يمكن للفرد فيه أن يتكلم فى حالة الذرة عن الجو الإلكترونى الذى له عدد كبير من خصائص الغاز العادى ، يجب أن تقارن مادة النواة بنقطة السائل الذى تتجمع فيه الجزيئات بفعل قوة الالتحام . ونموذج قطرة النواة الذى



شكل (٨ — ١٠)

نواة ذرية مكونة من البروتونات والنيوترونات . لا تتعرض الجسيمات الداخلية لأية قوة ، بينما تلك التى على السطح تجذب إلى الداخل .

قدمه المؤلف منذ حوالى ثلاثين عاماً يساعدنا على فهم الكثير من الخصائص النووية : فأولا وقبل كل شيء نجد أنه فى الوقت الذى يمكن فيه ضغط الغازات بسهولة بسبب الكثير من الفراغ بين جزيئاتها ؛ فإن السوائل يتغير حجمها قليلا مهما كان الضغط الذى تتعرض له عاليـــاً . وفى الواقع

رأينا قبل ذلك عندما كنا نتابع نظرية منديليف أن حجم الذرات يظل أساساً دون تغيير مع حفظ الكترونات أكثر وأكثر فى مسارات الكم التى لها أقطار أصغر وأصغر . ومن ناحية أخرى فإن القياسات تبين أن نصف قطر النواة الذرية يتزايد مع الجذر التكعيبي لكتلتها ، ولذا فالحجم يتزايد تناسبياً مع الكتلة بينما تظل الكثافة ثابتة . وتفوق كثافة السائل النووى الذى تتكون النواة الذرية من قطراته كثافة الماء بما يعادل ١٠^١٤ ضعفاً ، ولو ملء منه حجم صغير لوزن عدة ملايين من الأطنان ، ومثل أى سائل آخر تظهر على السائل النووى ظاهرة المط السطحى حيث إن النوى الموجودة على السطح تنجذب إلى الداخل بوساطة القوى الرابطة لباقى النوى ، وبهذا تميل إلى إنقاص منطقة السطح إلى الحد الأدنى . ولكن — كما فى حالة الكثافة — فإن التوتر السطحى للسائل النووى أكبر بكثير من السوائل العادية . فإذا وضعنا شريطاً من الصابون على إطار من السلك على شكل U وقاطعته قطعة من السلك المستقيم فإن قوة التوتر السطحى المؤثرة على السلك المتحرك قد يصل وزنها إلى حوالى ٧٠ ملليجراماً لكل سنتيمتر من طولها . ولو كان باستطاعتنا أن نفعل نفس الشىء مع السائل النووى فسوف تكون القوة عشرة بلايين من الأطنان ، وينتج عن التوتر السطحى أن يكون للنواة الذرية شكل كروى تقريباً كما هى الحال فى قطرات المطر ، ولابد أن تكون ذبذبات تلك القطرات الصغيرة واستداراتها مسئولة عن نشر أشعة جاما عن طريق القوى المضطربة .

ومهما كانت الظروف فإن جون ويلر عالم الفيزياء فى برنستون أظهر أن السائل النووى يمكن ألا يكون من الضرورى موجوداً على شكل كرات صغيرة ، ولكن يتخذ فى الغالب أشكالا مختلفة . والذى يقال فى هذه الحالة انه توجد أيضاً إلى جانب قوى الترابط النووى قوى تنافر كولوم بين الشحنات الموجبة والبروتونات . وفى بحث لم ينشر أظهر ويلر أن وجود تلك القوى المتنافرة يسمح للسائل الذرى أن يتخذ شكل كتل العجين . وفى الواقع نجد فى هذه الحالة أن قوى التوتر السطحى التى تميل إلى جعل كتل العجين تتقلص إلى كرات سوف تتعارض مع التنافر الكهربى بين جوانبها ، وسوف يكون الشكل العام مستقراً تماماً . تلك النواة التى تشبه كرات العجين والتى سوف تكون أكبر كثيراً من نويات اليورانيوم ولها وزن ذرى يبلغ عدة آلاف ، سوف تحاط بكهارب تتحرك قريباً من سطحها على طول مسارات تشبه

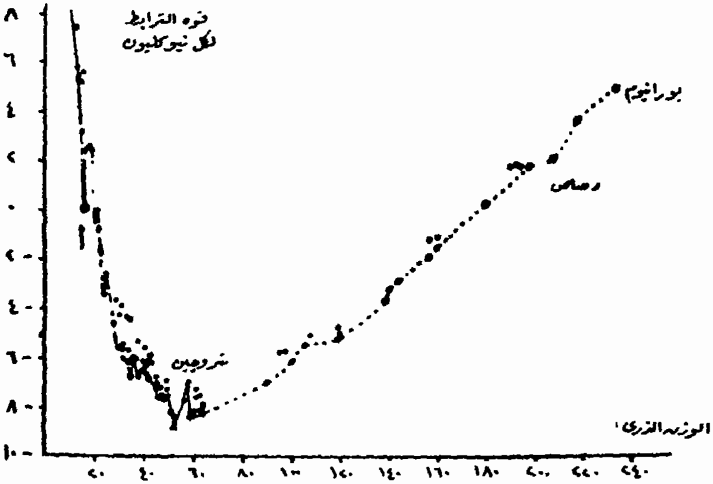
لف السلك على المغناطيس الكهربى المستدير * . مثل تلك النواة ذات الشكل المستدير ليس لها وجود فى الطبيعة ، ومن الصعب الاعتقاد بأنه يمكن صناعتها مستقبلا بوساطة أمهر علماء الطبيعة النووية . ولكن ويلر أشار إلى أنه لو أمكن توفيرها فسوف يمكن للمرء استعمالها كحلقات لتصنع منها سلسلة طويلة . وسوف يكون الخيط المصنوع من تلك السلاسل النووية قويا جداً ، وبالرغم من أنها رفيعة مثل خيط العنكبوت إلا أنها تتحمل وزن بارجة حربية ، ولكنها ستكون أيضاً ثقيلة جداً ويزن طول الياردة الواحدة منها حوالى ١٠٠٠ طن !

ويبدو أن نويات ويلر الكروية لن تجد التطبيق العملى أبداً ، ولكن أبسط الأشكال النووية التى يتحكم فيها نفس النوعين من القوى فتحت لنا عصر الطاقة الذرية . ودعنا الآن نقدر التوازن بين التوتر السطحى والطاقة الكهربية لنواة ذرية ؛ وبالطبع فإن الطاقة السطحية الكلية تكون متناسبة مع سطحها وتتزايد كلما كبرت النوى . وبما أن كثافة السائل النووى تظل ثابتة فإن حجمها يتناسب مع كتلتها (الوزن الذرى) ونصف قطرها مع جذر الكتلة التكعيبى . وعلى هذا فإن الطاقة السطحية لكونها فى تناسب مع السطح تتزايد مع مربع الجذر التكعيبى للكتلة ، أو بعبارة أخرى كالكتلة مرفوعة إلى أس يساوى $\frac{٢}{٣}$. ولإحصاء طاقة كولوم علينا باستخدام قانون الكهربة الساكنة الذى يقرر أن طاقة الجسم الكروى المشحون تتناسب مباشرة مع مربع شحنتها وتتناسب عكسياً مع نصف القطر . وتغطى الشحنة الكهربية النووية بوساطة رقمها الذرى الذى يتناسب تقريباً مع وزنها الذرى . وعندما نتذكر أن نصف القطر يتناسب مع الجذر التكعيبى للوزن الذرى ، نجد أن طاقة كولوم تتزايد تقريباً مع الوزن الذرى مرفوعاً إلى الأس $١\frac{٢}{٣}$ ، وهذا تزايد أسرع بكثير من تزايد طاقة التوتر السطحى . ونخرج من ذلك إلى أنه بينما يمكن لقوى التنافر الكهربى أن تلعب دوراً صغيراً فى النوى الخفيفة ، فإنها سوف تصبح أكثر أهمية فى النوى الثقيلة . وحيث إن قوى التوتر السطحى تميل إلى الاحتفاظ بقطرات السائل فى قطعة واحدة ، وأن تصهر قطرتين اتصلتا إحداهما بالأخرى وتجعل منهما قطرة كبيرة ، كان علينا أن نتوقع أنه فى حالة العناصر الخفيفة ستطلق الطاقة فى أثناء عملية الانصهار النووى . ومن ناحية أخرى فإنه فى حالة النوى الثقيلة نجد قوى كولوم

* ارجع إلى شكل (٥ – ١١) .

سوف تكون لها اليد الطولى وسوف يكون الانشطار النووى عملية إطلاق للطاقة . وتدل الإحصاءات على أن « منطقة الانصهار » تمتد صاعدة حوالى ثلث جدول مندليف ، مع توقع أن يكون إطلاق الطاقة أصغر كلما اقتربنا من النهاية ، وتنتمى « منطقة الانشطار » التى تبدأ عند تلك النقطة أولاً وقبل كل شىء إلى معدلات منخفضة لإطلاق الطاقة ، التى تتزايد سريعاً حتى تصل إلى أعلى القيم بالنسبة للعناصر الثقيلة . وعلى هذا فكل عنصر كيموى إنما يمثل مصدر جهد للطاقة النووية ، وينحصر السؤال فقط فى : كيف نبدأ التفاعلات النووية ثم كيف نجعلها تستمر ؟

ويمثل نموذج قطرة السائل للنوى الذرية ما يحكى الواقع تقريباً ، ولكن يجب ألا ينسى المرء أن البروتونات والنيترونات فى داخل النواة تكون عرضة لقوانين الكم نفسها التى تخضع لها الكهارب فى الذرة ، والتى لابد أن تحدث بعض الميل أو الانحراف عن الصورة المبسطة التى سبق عرضها . وفى الواقع فإن مثل هذه الانحرافات وجدت فى دراسة منفصلة عن الخصائص النووية شكل (٨ — ١١) ، وفيه يظهر تغير طاقة الترابط لكل نيوكليون من السلسلة كلها ابتداء من أخف النوى

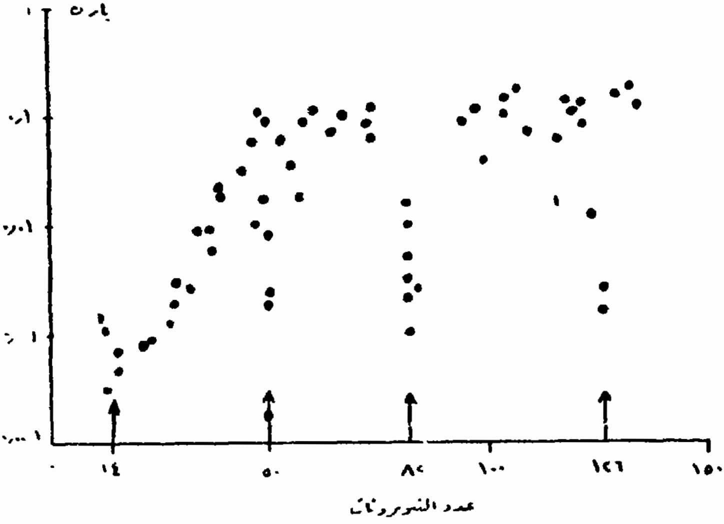


شكل (٨ — ١١)

قوى الترابط لكل نيوكليون كدالة من دوال الوزن الذرى

إلى أثقلها . ويلاحظ المرء تناقصاً منتظماً فى الطاقة الرابطة فى الجزء الأول من السلسلة ، ثم تزايداً بطيئاً بعد ذلك . وهذا يتمشى مع مناطق الانصهار والانشطار .

ولكن يجب أن يلاحظ المرء أيضاً أن المنحنى ليس انسيابياً تماماً ، وأن به عدداً من العقد تدل على التواء شديد شاذ بين النيكلونات . تلك الأماكن تطابق قشرة النيكلون المكتملة فى داخل النواة ، وهى تماثل تماما اكتمال قشرات الكهارب فى الذرة . وفى حالة الذرات تكون العناصر ذات قشرات الكهارب المكتملة قاصرة ذاتياً من الناحية الكيمائية ، حيث إنها مكتفية تماماً بمجموعات الكهارب الموجودة بها . ويبين شكل (٨ — ١٢) ظاهرة مماثلة فى حالة النوى وهى تمثل احتمالات نسبية لنيوترون يهبط ليقع تحت أسر نويات عناصر مختلفة . واحتمال أسر نيترون آخر يتساقط بعنف قائم فعلا فى النواة بالنسبة لعدد من النيترونات (٥٠ — ٨٢ — ١٢٦) ويدل هذا على أن تلك النوى تحتوى على أجسام نيترونية مكتملة . ودراسة هذه الحالة وغيرها من كثير من الأمور الشاذة فيما يتعلق بالخصائص النووية تقودنا إلى النتيجة القائلة



شكل (٨ — ١٢)

مقطع عرضى لأسر النيوترونات كدالة من دوال عدد النيوترونات فى النواة

بأن الأجسام المحتواة داخلياً تتكون داخل النواة كلما كان عدد النيوترونات أو البروتونات مساويا لأحد الأرقام الآتية : ٢ ، ٨ ، ١٤ ، ٢٠ ، ٢٨ ، ٥٠ ، ٨٢ ، ١٢٦ . وعلى أية حال فلا بد من ملاحظة أنه بينما يقع كل كهرب جديد فى داخل

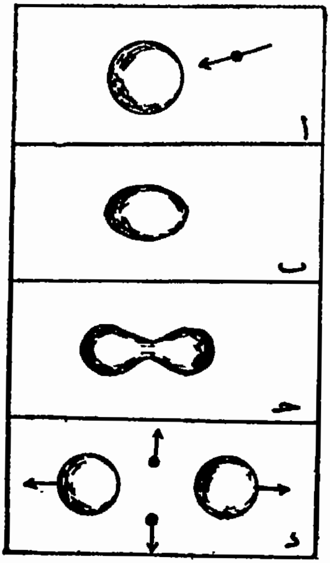
الذرات أصلا خارج الكهرب السابق مؤدياً بذلك إلى تكوين أشبه مايكون بالبصلة ، فإن الأجسام النيوترونية والبروتونية في النوى تتداخل بعضها مع بعض ، وكل منها يحتل الحجم النووى كله . هذا النقص فى الوضوح الهندسى بين الأجسام النيوكليونية يجعل تأثيرها معروفاً قليلا ، ولكن أصعب من أن يدرس ويشرح . وعلى أية حال ذللت هذه الصعوبة فى نفس الوقت وبصورة مستقرة على يد ماريا جوبرت مير فى شيكاغو وهانز جلنسن فى هيدلبرج . وكان باستطاعتهما عمل نظام كامل للأجسام النووية يتفق تماماً مع الحقائق الملاحظة . وعندما تقابلا لمقارنة نتائجهما ، وجدا أن كليهما ولد فى نفس اليوم من نفس السنة ، وبذلك أصبحا صديقين حميمين .

تفاعلات الانشطار المسلسلة

فى ٢٧ من يناير عام ١٩٣٩ نظمت جامعة جورج واشنطن (حيث كان يعمل المؤلف) بالاشتراك مع معمل كارنيجى بواشنطن مؤتمراً صغيراً للفيزياء النظرية فى نفس المدينة . وفى ذلك اليوم تسلم نيل بور رئيس المؤتمر وأحد الزوار المرموقين خطاباً من عالمة فيزياء ألمانية تدعى ليزميتنر تعمل فى ستوكهلم (هرباً من هتلر) . قالت إنها تلقت خطاباً من زميلها أتو هان فى برلين يخبرها أنه عندما كان هو ومساعده فريتز ستراسمان يقذفان اليورانيوم بالنترونات اكتشفا وجود الباريوم ، وهو عنصر فى منتصف جدول مندليف . واعتقدت ميتنر وابن أخيها أتو فرش (لاحظ وجود اثنين باسم أتو فى هذا العمل) الذى سافر معها إلى ستوكهلم أنه من المحتمل أن يكون هذا نتيجة لانشطار نواة اليورانيوم عندما قذفت بالنيوترون . وبمجرد أن قرأ بور الخطاب على المشتركين سرعان ما تحول موضوع المناقشة غير المثير إلى مناقشة حامية الوطيس ، عما إذا كان انشطار نواة اليورانيوم يمكن أن يؤدى إلى إطلاق واسع النطاق للطاقة النووية . وتوجه أنريكو فرمى الذى كان يشترك فى المؤتمر إلى السبورة وراح يكتب بعض الظواهر المتعلقة بعملية الانشطار . واستيقظ مراسل إحدى صحف واشنطن الذى كان نائماً فى الشطر الأول من المناقشة وبدأ يسجل ملاحظاته ، ولكن سرعان ما أراه الباب ميرل تيوف أحد علماء الطبيعة النووية فى

معهد كارنيجى ، وهو يقول له إن المناقشة فنية لدرجة لا يفهمها . وكانت هذه أولى الخطوات لضمان التنظيمات التى فرضت سريعاً على تطوير الطاقة الذرية ، ولكن ظهر فى الصحف ما سمعه المراسل قبل طرده . وفى اليوم التالى استيقظ المؤلف على نداء من بعيد صادراً من روبرت أوبنهيمر فى كاليفورنيا الذى كان يريد أن يعرف كل ما يجرى ، وبهذه الطريقة بدأت القافلة تسير .

وتعتبر المقالة التى نشرها نيل بور وجون ويلر فى عدد سبتمبر عام ١٩٣٩ فى مجلة الفيزياء (The Physical Review) عن نظرية الانشطار النووى أولى المقالات وآخرها التى نشرت فى هذا الموضوع قبل أن يسدل ستار الضمان ، وكانت تقوم على أساس نموذج قطرة النواة السابق مناقشته . وعندما بدأت النواة التى صدمها النيوترون الساقط فى التذبذب مارة بسلسلة من الأشكال المطولة اضطرب التعادل بين التوتر السطحى والقوى الكهربية ؛ فالأول يحاول إعادة النواة إلى شكلها الكروى الأصلى ، وتحاول الأخيرة زيادة الطول . فإذا ما زادت نسبة المحور الأكبر على



شكل (٨ — ١٢)

انشطار نواة ثقيلة ناجم عن تصادم نيوترون

المحور الأصغر للشكل الناقص عن حد معين نتج انشقاق على طول السطح المستوى وتنقسم النواة إلى نصفين . وبسرعة عرف أن انشطار نواة اليورانيوم يصحبه انطلاق زوج (أو على وجه التحديد ٢,٥) من النيوترونات التى من الممكن أن تصيب بدورها اثنين من النوى المنتجة جانباً فيشطرانهما وينتج عن هذا أربعة نيوترونات جديدة يمكنها شطر أربع نويات أخرى . . . وعلى ذلك يمكن وجود سلسلة تفاعلات سرعان ما تلتهم قطعة اليورانيوم كلها مع إطلاق كميات هائلة من الطاقة النووية .

ومن الصعب الكتابة فى موضوع أصبح شائعاً معروفا باسم « الطاقة الذرية » ، فنى الأيام الأولى عندما كانت الحقائق مختفية خلف ستار ضمان ثقيل لم يكن هناك كثير يمكن للفرد أن يكتب عنه . وعلى أية حال فإنه بعد أن أصبح من المستطاع الآن كشف دقائق المعلومات فى الكثير من الكتب ومن المقالات المنشورة فى المجلات والصحف صار الموضوع مملاوتافهاً إلى حد ما . وبالإضافة إلى ذلك فإنه بالرغم من أن انشطار نواة اليورانيوم يمكن اعتباره فقرة ممتعة فى قصة الفيزياء (فقرة واحدة فقط) إلا أن إنتاج القنابل الذرية والمفاعلات والمخصبات ينتمى لدرجة كبيرة إلى ميدان العلوم التكنولوجية . وعلى ذلك فإنه بالإضافة إلى رسم صورتين جميلتين جداً (خصوصاً إذا كان مستطاعاً إعادتهما بالألوان) — إحداهما لقنبلة ذرية واحدة ، والثانية لمفاعل واحد (نموذج بركة سباحة) — اللوحة رقم (٧) — فإننا سوف نناقش فى هذا الجزء أهم الخطوات الأساسية فقط .

أولا : كانت هناك حقيقة مخيبة للآمال ظهرت مبكرة فى الوقت الذى عقد فيه مؤتمر واشنطن السابق ذكره ؛ هذه الحقيقة هى أن نظائر اليورانيوم المشعة الرئيسية ليست هى التى تسبب ظاهرة الانشطار ، وهى أندر النظائر المشعة لليورانيوم ٢٣٥ التى توجد فى حوالى ٠,٧ ٪ إلى جانب النظائر الرئيسية ٢٣٨ لليورانيوم التى تكون الباقى وقدره ٩٩,٣ ٪ من اليورانيوم الطبيعى ، وهو ليس مجرد خليط غير ضار ولكن له ميل شديد للنيوترونات ويأسرها بدرجة تخمد أى تفاعل مسلسل يمكن أن يبدأ فى اليورانيوم ٢٣٥ . وكانت هناك طريقتان فقط للتمشى مع الموقف : إما أن يفصل اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيوم ٢٣٨ الضار ، أو يحاول إجراء التفاعل فى اليورانيوم الطبيعى بوساطة بعض الفضلات مع إقصاء اليورانيوم ٢٣٨ عن فريسته . وجربت

كلتا الطريقتين . فى مصنع سرى فى أوك ردج بولاية تنيسى اكتشفت طرق مختلفة لفصل نظائر اليورانيوم المشعة . وأخيراً تركز الإنتاج على طرق التغلغل التى تقوم على حقيقة أن مركبات اليورانيوم التى تحتوى على نظائر مشعة خفيفة تنتشر أسرع قليلا خلال الأغشية المسامية عن تلك التى تحتوى على نظائر مشعة ثقيلة .

والفضلات المطلوبة لإجراء التفاعل فى اليورانيوم الطبيعى صنفها فى الغالب أنريكو فرمى وكانت تقوم على مبدأ الاعتدال . ووجد أن نظائر اليورانيوم المشعة الثقيلة لها قابلية للنيوترونات سريعة الحركة نسبياً ، فى حين تفضل النظائر المشعة الخفيفة النيوترونات البطيئة . وحيث إن النترونات المنبعثة عند انشطار نواة اليورانيوم لها سرعات عالية جداً وجب على الفرد أن يبطئها إلى مستوى قابلية اليورانيوم ٢٣٥ ، وذلك حتى تكون سرعتها كافية لجعلها غير عرضة للالتهام بوساطة اليورانيوم ٢٣٨ . ويمكن تحقيق ذلك بخلط اليورانيوم بكمية كبيرة من المادة المسماة « المعدل » أى عنصر ذراته ليس لها قابلية إطلاقاً للنيوترونات ، وتنقص طاقة حركة النيوترونات فى عملية الاصطدام . واتضح أن أحسن معدلين هما ذرات الديتيريوم (نظائر الهيدروجين المشعة الثقيلة) وذرات الكربون اللتى تتحكم فى النوعين من الأعمدة (الكربون والماء الثقيل) المستعملين الآن . وأول عمود ذرى استخدم معدل الكربون (أحجار الجرافيت) وبنى تحت إشراف فرمى كان فى الملعب الكبير بإستاد جامعة شيكاجو ، وبدأ تفاعله فى الثانى من ديسمبر عام ١٩٤١ . وبالطبع تسير التفاعلات النووية المسلسلة بطيئة جداً فى الأعمدة المعدلة ، ولا يمكن استخدام الطاقة الناتجة عنها فى الأغراض الحربية أو السلمية . ولكن هناك حيلة ؛ فنى الوقت الذى يجرى فيه التفاعل الانشطارى المسلسل فى نوى اليورانيوم ٢٣٥ تلتهم نوى اليورانيوم ٢٣٨ النهمة بعض النيوترونات وتحرم بوساطة المعدل من مأدبة لوكولان . ويتضح من المعادلة الكيموية الآتية ما يحدث عندما تلتهم نوى اليورانيوم ٢٣٨ نيوترونا :

٢٣٨ يورانيوم ٩٢ + نيوترون ١ ← ٢٣٩ يورانيوم ٩٢ + جاما

٢٣٩ يورانيوم ٩٢ ← ٢٣٩ نيتونيوم ٩٣ + كهرب سالب

٢٣٩ نيتونيوم ٩٣ ← ٢٣٩ بلوتونيوم ٩٤ + كهرب سالب

والنبتونيوم والبلوتونيوم هما عنصران من عناصر « الترنزيورانيوم » الناتجة فى

العمود الذرى . وفى الوقت الذى يكون فيه النبتونيوم مجرد مرحلة انتقالية فى العملية نجد أن البلوتونيوم يمثل شيئاً ما حقاً، فله نفس خصائص اليورانيوم ٢٣٥ إن لم يكن أكثر . وهو ينشطر بسهولة أعظم إذا ما اصطدم بنيوترون ويصحب انشطاره عدد أكبر من النيوترونات الثانوية . وما هو أكثر أهمية هو أن للبلوتونيوم خصائص كيموية مختلفة عن اليورانيوم ، (ويقال) إنه يمكن فصله بسهولة من اليورانيوم المتبقى عندما تنتهى عملية الطبخ فى العمود .

واليوم يصل إنتاج المواد القابلة للانشطار فى الولايات المتحدة إلى س طن * سنوياً إذا قيس بإنتاج الاتحاد السوفيتى الذى يبلغ ½ ص طن .

قنابل الانشطار والمفاعلات

أهم فكرة فى المناقشات المتعلقة بمفاعلات الانشطار المسلسلة هى فكرة « الحجم الحرج » ، فعندما تحدث عملية انشطار واحدة فى داخل عينة معطاة من اليورانيوم ٢٣٥ الخالص أو البلوتونيوم ٢٣٩ ، تنبعث عدة نيوترونات انشطارية من النقطة التى حدث فيها الانشطار النووى (بمعدل ٢,٥ لليورانيوم و ٢,٩ للبلوتونيوم) . ومتوسط المسافة التى يجب على تلك النيوترونات الانشطارية أن تسيرها حتى تصل إلى نواة أخرى هو ١٠ سم . لهذا فإنه إذا كان حجم العينة المعطاة أقل من ذلك فإن أغلب النيوترونات الانشطارية سوف تخترق سطح العينة وتطير بعيداً قبل أن تواتيها الفرصة لإحداث انشطار آخر وإنتاج نيوترونات أخرى . ولهذا لا يمكن أن يتم تفاعل مسلسل يسير حثيثاً فى سبيل التقدم إذا كان حجم العينة صغيراً جداً . وعندما نصل إلى عينات أكبر بكثير نجد أن كثيراً من النيوترونات الانشطارية الناتجة فى الداخل تواتيها الفرصة لإحداث انشطار آخر بالاصطدام مع نواة قبل أن تهرب عبر السطح . أما فى العينات ذوات الحجم المناسب فإن عدد النيوترونات الانشطارية التى تحدث انشطاراً آخر بداخل العينة يصبح كبيراً لدرجة تكفى لإحداث زيادة سريعة فى درجة التفاعل بمرور الزمن . وحجم العينة لمادة معينة قابلة للانشطار والتى تكون بها

* إلى مقادير غير معروفة (المترجم) .

نسبة عالية من النيوترونات التى تسبب عمليات انشطارية متتابعة تكفى لقيام تفاعل مسلسل يسير بخطى تقدمية ، هذا الحجم يعرف باسم « الحجم الحرج » لتلك المادة المعينة . وبما أن عدد النيوترونات لكل انشطار يكون أكبر فى حالة البلوتونيوم منه فى حالة اليورانيوم ٢٣٥ ، نجد أن الحجم الحرج لعينات البلوتونيوم يكون أصغر منه فى عينات اليورانيوم ٢٣٥ لأن الأول يعطى خسائر أكبر من النيوترونات عبر السطح .

وللحصول على انفجار نووى وجب على الفرد أن يكوّن عينه فوق الحرجة من مادة قابلة للانشطار فى وقت قصير لا يكفى لحدوث تفاعل مسلسل يصل مداه إلى قوة هائلة . ونحن يمكننا عمل ذلك مثلا بقذف كتلة تحت الحرجة لكتلة أخرى تحت الحرجة كذلك بسرعة عالية حتى لا يحدث تفاعل مسلسل يصل مداه إلى درجة كبيرة قبل الحصول على التركيبة كاملة . وهناك أيضاً طرق أكثر إحكاماً للحصول على نفس النتيجة .

وإذا أراد المرء إجراء تفاعل انشطارى مسلسل تحت وطأة الظروف حتى يستعمله فى أغراض إنتاج الطاقة ، وجب أن يحتفظ بالعينة طوال الوقت بحيث تكون قريبة من الحجم الحرج ما أمكن ذلك . ولابد أن نتذكر أن التفاعل النووى المسلسل تفاعل انفجارى بطبيعته ، وأن أية محاولة لإجرائه بدرجة منتظمة يمكن مقارنتها بالاحتفاظ بفرن مشتعل مع استعمال وقود (TNT ترای نترو تولوين) ونوع من المتفجرات ، إلا أنه يمكن فى الواقع إنجاز ذلك مع توافر فرصة صغيرة لوقوع كارثة . وعلى أية حال فمثل هذا الظرف يمكن الحصول عليه باستعمال « محابس ضبط » تحتوى على نيوترون يمتص المواد (مثل البورون) ، تدفع أو تسحب تلقائياً من القنوات الصغيرة المحفورة خلال المواد المتفاعلة قابلة الانشطار بمجرد أن تنخفض نسبة إنتاج النيوترون أو تزداد عن المستوى المطلوب .

واليوم تستعمل المفاعلات النووية بنجاح كمصادر للطاقة فى البلدان التى بها نقص فى الفحم والزيت مثل بريطانيا ، ولتسيير السفن مثل الغواصات « الذرية » فى الولايات المتحدة ، وكاسحات « الجليد » فى اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفيتية .

التفاعلات النووية الحرارية

ولقدظل علماءالفلك والفيزياءيتساءلون عدة قرون عما يجعل الشمس والنجوم الأخرى تضيء . وكان من الطبيعى أن يروا أن « الاحتراق العادى » لا يكفى ، حيث إنه حتى لو كانت مادة الشمس من أحسن أنواع بنزين الطيران لما استطاعت الاستمرار على البقاء من عهد الأهرامات المصرية حتى اليوم . فمنذ حوالى مائة عام اقترح كل من هيرمان فون هلمهلتز فى ألمانيا ولورد كلفن فى إنجلترا أن الشمس يمكنها الاحتفاظ بإشعاعها الضوئى والحرارى نتيجة انكماش جسدها . ودلت الإحصائيات على أن انكماش الشمس من حجمها الأصلى الكبير إلى قطرها الحالى من الممكن أن يطلق طاقة كافية للاحتفاظ بإشعاعها لعدة ملايين قليلة من السنين . ولكن الإحصاءات الأخيرة لعمر المجموعة الشمسية تجعل من الواضح أنه حتى هذا الرقم الكبير ليس كافياً ، وأن الشمس لا بد أن تكون مشرقة منذ عدة بلايين من السنين على الأقل ، وأن الطريقة الوحيدة لإحصاء عمر الشمس هى افتراض أنها تحصل على طاقتها من نوع ما من التحولات النووية . وفى عام ١٩٢٩ اجتمع الفلكى البريطانى روبرت اتكنسون وعالم الفيزياء النمسوى فريتز هوترمانز ليريا ما إذا كان من الممكن أن يكون ذلك صحيحاً ، وكانت فكرتهما هى أن التصادم الحرارى بين الذرات فى داخل الشمس الملتهب يمكن أن يتسبب فى إحداث بعض التفاعلات النووية بسرعة تكفى لإعطاء الكمية اللازمة من الطاقة . ودلت دراسات الفلكى البريطانى السير أرثر ادنجتون على أن الحرارة فى داخل الشمس لابد أن يكون ارتفاعها حوالى ٢٠ مليون درجة ، وتتفق هذه مع طاقة الحركة الحرارية البالغة حوالى ٤ × ١٠$^{-٩}$ ارج لكل جسيم . هذه الطاقة أصغر مئات المرات من طاقة القذائف الذرية المستعملة فى التجارب التقليدية على التحول الصناعى للعناصر . ولكن يجب أن يضع الفرد نصب عينيه أنه فى الوقت الذى تفقد فيه القذائف النووية المعجلة صناعياً طاقتها الابتدائية بسرعة وتكون أمامها فرصة صغيرة فقط لإصابة هدف النواة قبل أن تخرج من المباراة ، نجد أن الحركة الحرارية تستمر بلا نهاية وتصطدم

الجسيمات التي تشتمل عليها بعضها ببعض لمدد غير محددة من الزمن . واستطاع هوترمانز واتكنسون باستعمال نظرية الأختراق الآلى الموجى خلال حائل الجهد النووى التي ظهرت قبل ذلك بعام واحد فقط أن يبرهنا على أنه فى الحرارات والكثافات الناتجة داخل الشمس يمكن للتفاعل النووى الحرارى بين نوى الهيدروجين (بروتونات) ونوى عناصر أخرى خفيفة أن يطلق كمية من الطاقة كافية لتعليل إشعاع الشمس الملحوظ . هذه النظرية تم افتراضها قبل أن يجرى كوكروفت ووالتون تجاربهما على التحول الصناعى للعناصر ، ذلك التحول الناتج عن قذف البروتون . وأمكن الوصول إلى معلومات قليلة عما يحدث عندما تصطدم النوى الخفيفة المختلفة بالبروتونات . واقترح هوترمانز واتكنسون فى ذلك الوقت أنه لابد أن توجد نواة خفيفة لها القدرة على أسر البروتونات والتشبث بها لمدة كبيرة من الوقت . وبعد أن يؤسر البروتون الرابع من الممكن أن يتكون جسيم ألفا بداخل مصيدة البروتونات ، أى النواة . ومن الممكن أن طرد هذا الجسيم يطلق كمية كبيرة من الطاقة النووية ولقد سميا مقالتهما التي نشرت عام ١٩٢٩ فى مجلة ألمانية « زيتشرفت فور فيزيك Zeitschrift fur Physick » بعنوان : (كيف يمكن للفرد أن يطبخ نوى الهيليوم فى وعاء كامن) * ، ولكن محرر المجلة ، الذى لم يكن مرحاً ، عمد إلى تغيير عنوان المقالة إلى عنوان تقليدى مما يصطلح عليه .

وبعد عشر سنوات عندما تجمعت المعلومات الكافية عن تحول النوى الخفيفة التي تصطدم بالبروتون، عرفت « النواة التي يأسرها البروتون » التي اكتشفها اتكنسون وهوترمانز بالكربون . واقترح هانز بيثى بالولايات المتحدة وكارل فون ڤايساكر بألمانيا، كل على حدة ،وجود ما عرف باسم « دورة الكربون » الموجودة بالشكل (٨ — ١٤) . فى هذه السلسلة من التفاعلات النووية تؤسر أربعة بروتونات بالتوالى بوساطة نواة ذرة الكربون ، وبعد تحول اثنين منها إلى نيوترونات تقذف على شكل جسيم ألفا . والفترة الكلية للدورة هى ٦ ملايين من السنين ، وتصل الطاقة التي تبعثها إلى ٤ × ١٠⁻⁵ ارج . وبما أنه — تبعاً للحقائق الحالية عن التركيب الكيموى للشمس — يحتوى كل جرام من المادة الشمسية حوالى ٠,٠٠٠١ جم

* Vie Kan Ean Ein Lielium Kern in ein Potencial Topf Kochen ? (المؤلف).

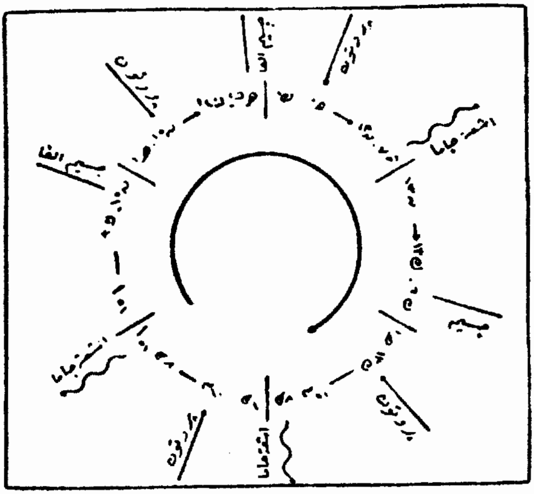
من الكربون (٥ × $١٠^{١٨}$ من ذرات الكربون) ، فإن النسبة الكلية لإطلاق الطاقة بوساطة دورة الكربون تصل إلى ارج لكل جرام فى الثانية ، وهذا الرقم يمثل فقط ١ ٪ من النسبة التى يجب أن تنتج داخل الشمس .

وفى ذلك الوقت اقترح تشارلس كرتشفيلد چرچ جامعة چورچ واشنطن عملية أخرى . وكانت فكرته هى أنه إذا كان فى الاصطدام بين بروتونين يتحول أحدهما إلى نيوترون بوساطة انبعاث كهرب موجب ، فإنه يمكن تكوين نواة الدوتريوم (من نظائر الهيدروجين المشعة الثقيلة) . وعن طريق تفاعلات متتالية يتحول الدوتريوم إلى هيليوم ، وبهذا نصل إلى نفس النتيجة مثل دورة الكربون ولكن بصورة أسرع . والتفاعلات الداخلة فى هذه العملية التى تسمى هيدروجين — هيدروجين هى :

^{١} هيدروجين $_{١}$ + ^{١} هيدروجين $_{١}$ ← ^{٢} دوتريوم $_{١}$ + بوزترون + نيوترينو

^{٢} دوتريوم $_{١}$ + ^{١} هيدروجين $_{١}$ ← ^{٣} هيليوم $_{٢}$ + جاما

^{٣} هيليوم $_{٢}$ + ^{٣} هيليوم $_{٢}$ ← ^{٤} هليوم $_{٢}$ + ٢ ^{١} هيدروجين $_{١}$



شكل (٨ — ١٤)

دورة الكربون المسئولة عن إنتاج الطاقة النووية الحرارية فى النجوم

وعند درجة الحرارة التى تبلغ ٢٠ مليون درجة يستغرق هذا التفاعل ٣ × $١٠^{٩}$ سنوات ، ويطلق ٤ × $١٠^{-٥}$ إرج لكل بروتون . وحيث إن الهيدروجين يكوّن حوالى نصف المادة الشمسية (٢ × $١٠^{٢٣}$ ذرة لكل جرام) فإن النسبة الكلية لإطلاق

الطاقة تكون حوالى ١٠٠ ارج لكل جرام فى الثانية وتكون بذلك فى توافق تام مع القيمة المرصودة .

وعلى أية حال ليس تسلط تفاعل هيدروجين — هيدروجين على دائرة الكربون فى الشمس قاعدة عامة ، ولكن تقلب فى كثير من النجوم . والفكرة هى أن هذين التفاعلين النوويين الحراريين لهما حساسية مختلفة للحرارة ، وبينما تتناسب نسبة دائرة الكربون مع ١٧ تريتيوم نجد أن تفاعل هيدروجين — هيدروجين يتمشى فقط مع ٤ ترتييوم . وعلى ذلك فإنه فى حالة النجوم الأكثر لمعاناً من الشمس ، مثل الشعرى التى تتمتع بدرجة حرارة مركزية أعلى ، يكون لدائرة الكربون اليد الطولى فى تفاعل هيدروجين — هيدروجين . ومن ناحية أخرى فإن النجوم الأكثر خفوقاً من الشمس ، وإلى هذا النوع تنتمى غالبية النجوم ، نجد أن إنتاج الطاقة يرجع تماماً إلى تفاعل هيدروجين — هيدروجين .

وسيعجب القارئ كثيراً إذا حاول مقارنة نسبة إنتاج الطاقة بداخل الشمس بتلك الحرارة الناتجة عن الاستعمالات العادية للكهرباء ، مثل إناء قهوة يعمل بالكهربا . فكل مائة ارج لكل جرام فى الثانية تساوى حوالى ٢ × ١٠$^{-٥}$ سعر لكل جرام فى الثانية . وجعل جرام واحد من الماء البارد يصل إلى نقطة الغليان بهذه النسبة من الحرارة قد يستغرق حوالى ٥ × ١٠^{٧} دقيقة ، أو سنة ونصف سنة . وعلى ذلك فإنه عند استعمال إناء قهوة يعمل بالكهربا وتعمل وحدة التسخين فيه بنفس قوة التفاعلات النووية بداخل الشمس علينا أن ننتظر سنين طويلة حتى يغلى الماء ، على شرط أن يكون الإناء معزولا تماماً ، وألا يكون هناك فقدٌ فى الحرارة . والسبب فى أن الشمس ساخنة جداً بالرغم من مثل تلك النسبة الحرارية المنخفضة انخفاضاً كبيراً هو أنها كبيرة جداً . ونجد فى الواقع أنه بما أن الإنتاج الكلى للحرارة يتناسب مع الحجم (أى مع نق ٣)* فى حين يتناسب فقد الحرارة مع السطح (أى مع نق ٢) فإن الأجسام الكبيرة جداً تصبح شديدة الحرارة حتى لو كانت نسبة إنتاج الحرارة لكل وحدة من وحدات الحجم فى داخلها منخفضة للغاية .

ويتضح من المناقشة السابقة أنه ، لا دائرة الكربون ، ولا تفاعل هيدروجين —

* نق ٣ مكعب نصف القطر (المترجم) .

هيدروجين اللذين يمدان النجوم التى تنير العالم بالطاقة كافية لرجل أنيق يريد استغلال الطاقة النووية من أجل أغراضه الخاصة . ومفتاح حل تلك المشاكل يمكن الحصول عليه من النظائر المشعة للهيدروجين والدوتريوم د ٢ الذى اكتشفه عالم الكيمياء الأمريكى هارولد أورى ، ونظائر مشعة ثقيلة أخرى مثل تريتيوم . والدوتريوم موجود فى الطبيعة ولو أنه موجود بكميات صغيرة جداً ، فكل جزىء من ثلاثة آلاف جزىء من الماء يحتوى على ذرة من الدوتريوم . ويرجع إلى تطوير وسائل فصل النظائر المشعة أن انخفضت تكاليف الدوتريوم فأصبحت مثل ثمن الويسكى الرخيص بعد أن كانت مثل ثمن العطور الفرنسية الغالية . فهناك كميات كبيرة من الماء فى المحيطات . وحيث إن التريتيوم هو نظيرمشع غير مستقر فإنه لا يوجد فى الطبيعة ، (اللهم إلا كميات صغيرة مهملة تنتجها الأشعة الكونية فى الجو) ، فلابد إذن من صناعته بتكاليف باهظة فى الأعمدة الذرية . وإذا استعمل على أنه الوقود الرئيسى فإنه يكلف الشىء الكثير ، إلا أنه يساعد فى « الإشعاع النووى » لبدء التفاعل النووى الحرارى فى الدوتريوم . والتفاعلات الممكنة بين نظائر الهيدروجين المشعة الثقيلة هى :

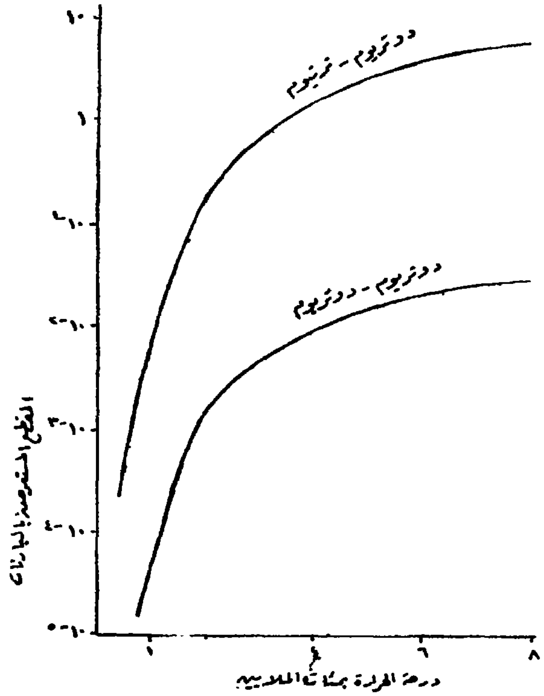
$^{2}_{1}$دوتريوم + $^{2}_{1}$دوتريوم ⟵ $^{3}_{2}$هليوم + ^{1}نيوترون + ٣,٢٥ مليون الكترون ڤولت

$^{2}_{1}$دوتريوم + $^{2}_{1}$دوتريوم ⟵ $^{3}_{1}$تريتيوم + $^{2}_{1}$هيدروجين + ٤ مليون الكترون ڤولت .

$^{2}_{1}$دوتريوم + $^{3}_{1}$تريتيوم ⟵ $^{4}_{2}$هيليوم + ^{1}نيوترون + ١٧,٦ مليون الكترون ڤولت .

وفى شكل (٨ — ١٥) تظهر بوضوح مقاطعها المستعرضة الفعالة محسوبة على أساس نظرية ظاهرة حفر النفق * . وعلى ذلك فإن الذى على المرء أن يفعله ليحصل على تفاعلات نووية حرارية بين نظائر الهيدروجين المشعة الثقيلة هوأن يسخنها إلى درجة حرارة تبلغ مئات قليلة من ملايين الدرجات . وفى أول نوفمبر عام ١٩٥٢ توصل علماء لوس ألاموس إلى ذلك عندما فجروا أول قنبلة نووية حرارية فى اليوجيلاب ، إحدى جزر المرجان فى المحيط الهادى ، فحولوا الجزيرة إلى بركة من

* مفروض أن النجوم والشموس تجمع غاز الأيدروجين الكونى مخلفة وراءها ما يشبه النفق (المترجم) .



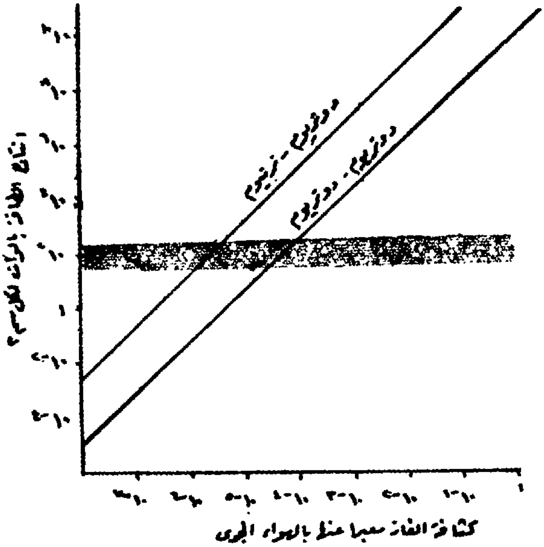
شكل (٨ – ١٥)

مقاطع مستعرضة لتفاعلات دوتريوم – دوتريوم دوتريوم – تريتيوم كدالة من دوال طاقاتها الحرارية المعبر عنها بدرجة الحرارة المطلقة .

الماء عرضها ميل وعمقها حوالى ٢٠٠ قدم . وقد توصلوا لتلك النتيجة بكبس كمية مناسبة من الهيدروجين الثقيل وتسخينها وذلك بتفجير قنبلة انشطارية قوية .

ومهما كانت الظروف فالموقف يصبح أكثر تعقيداً إذا ما أراد الفرد إجراء تفاعل نووى حرارى تحت ظروف منظمة . وأن يستغل الطاقة المنطلقة فى أغراض بنائية وليس فى أغراض تخريبية . فمن الواضح أنه فى هذه الحالة يجب أن تتغير الظروف الطبيعية التى تجرى تحتها التفاعلات النووية الحرارية تغيراً جذرياً ؛ فأولا وقبل كل شىء يجب أن يجرى التفاعل عند كثافات منخفضة جداً لتحاشى ضغط الغاز العالى الذى لا يطاق والذى من الممكن إنتاجه عند درجة حرارة تبلغ مائة مليون درجة . وفى الواقع فإنه عند تلك الدرجة الحرارية وكثافة الهواء الجوى سينتج غاز

الدوتريوم ضغطاً يعادل ١٠٠ مليون رطل لكل بوصة مربعة . ولا يوجد وعاء يمكنه الاحتفاظ به فى مكان ما . وتبين الصورة التى فى شكل (٨ — ١٦) نسبة الطاقة النووية الحرارية للدوتريوم الخالص والخليط من الدوتريوم — تريتيوم عند كثافات غاز مختلفة . فنحن نرى أنه للحصول على نسبة إنتاج للطاقة تبلغ حوالى ١٠٠ وات لكل سنتيمتر مكعب ، والتى يمكن مقارنتها بمثيلتها فى المفاعلات الانشطارية التى تنتج اليوم ، فإن كثافة الدوتريوم يمكن أن تنخفض إلى ما يساوى واحداً على عشرة آلاف من كثافة الهواء الجوى . وهذا يتفق مع أحسن فراغ يمكن إحداثه فى معاملنا . والمشكلة الثانية هى حفظ هذا الغاز الساخن المخلخل بعيداً عن جدار الإناء ، وإلا فإن عملية توصيل الحرارة إلى الجدران سوف تنقص حرارة غاز الدوتريوم سريعاً إلى أقل من الحد الأدنى المطلوب للتفاعل النووى الحرارى . ويمكن توفير ذلك بعدة وسائل مختلفة كلها تقوم أساساً على استعمال مجالات مغناطيسية قوية . فى درجة الحرارة العالية جداً المطلوبة فى هذه الحالة سوف يكون غاز الدوتريوم فى الأنبوبة



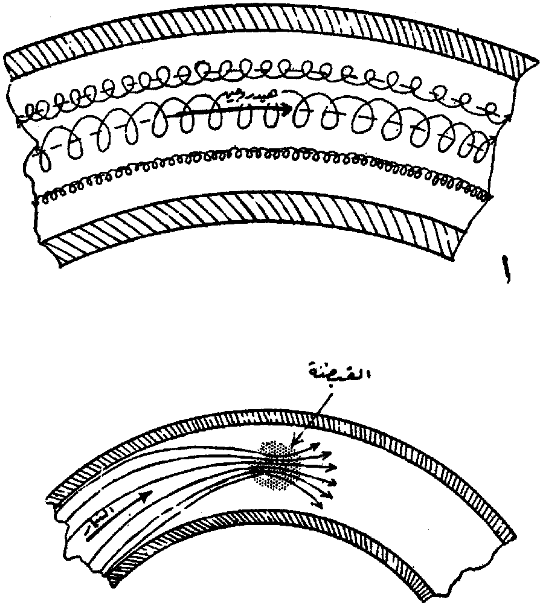
شكل (٨ — ١٦)

معدل انطلاق الطاقة النووية لكثافات متباينة للغاز عند درجة حرارة تبلغ ٧ × $١٠^{٩}$ درجة مطلقة (حوالى ضعف حرارة الشمس الداخلية) . تمثل الحزمة المظللة إنتاج الطاقة فى اليورانيوم الموجود ومفاعلات البلوتونيوم .

مؤينا تأينا كاملا ، ومكوناً أساساً من كهارب مشحونة شحنات سالبة ، وديوترونات مشحونة شحنات موجبة (وتلك حالة للمادة تعرف هذه الأيام « بالبلازما ») .

ونحن نعرف اليوم أنه عندما يتحرك جسيم مشحوناً كهربياً خلال مجال مغناطيسى فإنه يلاقى قوة متعامدة على اتجاه حركته ، وكذلك على المجال نفسه . هذه القوة ترغم الجسيمات على أن تنطلق فى مسار حلزونى على طول اتجاه الخطوط المغناطيسية كما يظهر فى شكل (٨ — ١٧) . وعلى ذلك فإنه بتكوين مجال مغناطيسى محورى قوى فى أنبوبة نستطيع أن نمنع الديوترونات والتريتونات الحرة الطليقة منعاً باتاً من الاقتراب من الجدران . فإذا تم توافر ذلك كان من المتوقع أن ينتج عن الاصطدامات بين الجسيمات التى تنطلق فى مسار حلزونى على طول الأنبوبة تفاعلات دوتريوم—دوتريوم، أو دوتريوم—تريتيوم، مع إطلاق طاقة نووية وكميات وفيرة من النيوترونات . وبالطبع فإنه لبدء مثل تلك العملية يجب أولا تسخين الغاز الموجود فى الأنبوبة إلى درجة حرارة عالية بوساطة عامل خارجى .

أما الاحتمال الثانى فهو استعمال قوى مغناطيسية ناتجة عن تفريغ شحنات كهربية قصيرة ولكن قوية خلال الأنبوبة . ومن المعروف أن تيارين كهربيين يسيران متوازيين فى نفس الاتجاه ينجذبان مغناطيسياً ناحية بعضهما بعضاً ، حتى إنه فى حالة التيار القوى نجد أن الغاز أو (البلازما) بداخل الأنبوبة سوف يميل إلى فصل نفسه عن الجدران ويكبس فى شريط ضيق على طول المحور . وبفحص الشكل (٨ — ١٧) يمكن فهم كيف تعمل هذه التى يطلق عليها اسم « ظاهرة الكماشة »، وعلى النقيض من الطريقة السابق وصفها فإن ابتكار « ظاهرة الكماشة » أنجز الغرض فى هزات كما تعمل آلة السيارة ، ولكنها تمتاز تماماً بأن الغاز الموجود فى الأنبوبة يسخن تلقائياً بتفريغ شحنة كهربية ، وليست هناك حاجة لتسخين خارجى . ولقد قدر أن تياراً يبلغ عدة مئات الآلاف من الأمبيرات يستمر لمدة أجزاء من المليون من الثانية سوف ينتج قبضة شدتها تكفى لإحداث تفاعل نووى حرارى فى الدوتريوم . والعمل فى الاتجاهات السابق وصفها يقوم الآن فى كثير من معامل العالم . ومن المحتمل جداً أن مشكلة التفاعلات النووية الحرارية المضبوطة سوف تجد الحل فى نظام محكم مقتضب .



أ

ب

شكل (٨ – ١٧)

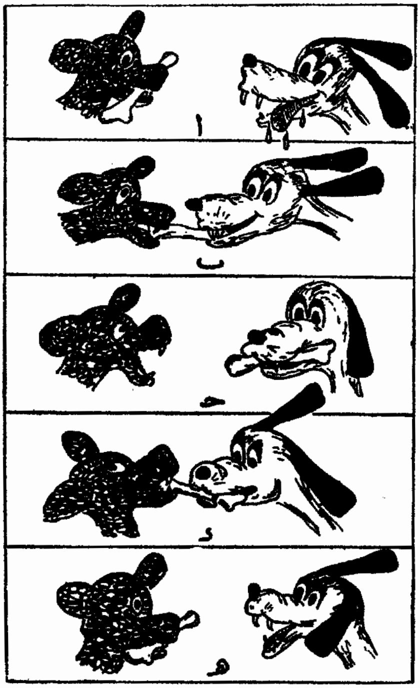
اثنان من الطرق الرئيسية التى تعمل الآن للتحكم فى التفاعلات النووية الحرارية Stellarator . ستللاريتور فى برنستون ، وبرهابسوترون Perhapsotron فى لوس الاموس .

الميسونات والهيبرونات

فى أوائل الثلاثينات من هذا القرن سعد العلماء بقليل من الجسيمات التى تتكون منها المادة ؛ فالبروتونات والنيوترونات للنوى الذرية والكهارب لأغلفتها — وأيضاً النيوترينو ، تلك المشكلة وليدة العصر . ولكن فى عام ١٩٣٢ ظهرت مقالة بقلم عالم الفيزياء اليابانى هيديكى يوكاوا سببت الصداع لكل من يهتم بطبيعة قوى الترابط النووية . فلقد زعم يوكاوا أن تلك القوى مرجعها إلى جسيم جديد يتبدل باستمرار بين البروتونات والنيوترونات . وأنه لمن العسير ، إذا لم يكن من غير الممكن أن نصف بطريقة بسيطة فكرة « قوة التبادل » المعقدة . وأحسن ما يمكن للفرد أن يفعله هو أن يتخيل كلبين جائعين حصلا على عظمة طرية ، ثم راحا يتخاطفها كل منهما من الآخر ليقضم منها قطعة . هذه العظمة اللذيذة تمر باستمرار من فك أحدهما إلى فك الآخر ، وفى الصراع الناتج عن هذا يتلاحم الكلبان دون انفصال .

وفكرة يوكاوا هى أن القوى الجذابة بين النيوكلونات إنما مرجعها إلى صراع مماثل لامتلاك ذلك الجسيم الجديد اللذيذ . ويمكن أن يكون ذلك الجسيم الجديد متعادلا كهربياً ، أو يمكن أن يكون حاملا لشحنة كهربية سالبة أو موجبة ، ويمكن أن تبدو عملية التبادل فى تلك الحالات كما فى شكل (٨ — ١٨) .

وقد أثبت يوكاوا أنه لإيجاد تعليل لخصائص القوى النووية المرصودة يجوز أن يفترض أن لهذا الجسيم الجديد كتلة وسيطة فيما بين كتلة البروتون وكتلة الكهرب ، تكون أخف من كتلة البروتون بحوالى عشرة مرات وأثقل من كتلة الكهرب بحوالى مائتى مرة . ولم يعتقد أحد بوجود تلك الجسيمات التى سميت علمياً « يوكونات » ، إلى أن اكتشف كارل أندرسون عالم الفيزياء التكنولوجية بكاليفورنيا فيما بعد ذلك بعامين وجود جسيمات مشحونة شحنات موجبة وسالبة لتلك الكتلة فى الأشعة الكونية التى تنهمر إلى الأرض خلال طبقات الجو العليا .



شكل (٨ — ١٨)

تبادل ميسون (العظمة) بين نيوكلونين

ولقد صادف اسم الجسيم الجديد عدة مراحل تطويرية منذ اكتشافه[١]، فى بعض الأحيان سمى « كهرب ثقيل » ، وفى وقت آخر سمى « بروتون خفيف » ، ثم اقترح شخص ما اسم « ميسوترن » ، وهو مشتق من الكلمة الإغريقية « ميسوس » ، ومعناها « وسيط » . ولكن والد فرنر هيزنبرج الذى كان يعمل أستاذاً للغات القديمة اعترض على أن الحرفين « ت ، ر » ليس لهما مكان فى الاسم . وفى الواقع أنه بينما اسم « ألكترون » مشتق من الكلمة الإغريقية « ألكترا » (ومعناها الكهربا) فإن كلمة « ميسوس » الإغريقية ليس بها «ت» أو «ر» . وعلى ذلك استقر الرأى أخيراً على أن يكون اسم جسيم يوكاوا « ميسون » أمام معارضة عالم الفيزياء الفرنسى الذى لم يكن يريد الخلط بين اسم الجسيم الجديد وبين الكلمة الفرنسية « ميزون » (ومعناها بالفرنسية « بيت ») .

ومنذ البداية سببت الميسونات الكثير من المتاعب لعلماء الفيزياء ، حيث بدا هناك خطأ ما فى امتصاص الهواء الجوى لها . وبالنسبة للجسيمات التى لها مثل تلك الطاقة العالية جداً (عدة بلايين من الڤولتات الكهربية) كان من المتوقع أن امتصاص المواد المختلفة لها يعتمد فقط على الكمية الكلية (كتلة) للمواد التى تجتازها . وفى الواقع نجد أنه بالنسبة لتلك الطاقات يمكن اعتبار أن كل الكهارب الذرية التى تصطدم بها تلك الجسيمات السريعة حرة طليقة (ارجع إلى مناقشة نظرية كمتن) ، والذى يهم هو فقط عدد الكهارب وليس الطريقة التى ترتبط بها النوى الذرية المختلفة . لهذا فإننا لو قسنا شدة حزمة أشعة كونية على قمة جبل وعند سفحه لوجدنا أن تناقص الشدة لابد أن يتأثر فقط بوزن عمود الهواء الممتد رأسياً من الموقع الأسفل إلى الموقع الأعلى . ودعنا نقل إنه لو كان فرق الضغط البارومترى بين موقعين هو ١٠٠ مليمتر زئبق لتبع ذلك أن يكون وزن عمود الهواء مساوياً لوزن عمود من الزئبق طوله ١٠٠ مليمتر ، ولذلك فمن الضرورى أن يكون امتصاص طبقة من الزئبق سمكها ١٠٠ مليمتر للأشعة الكونية مساوياً لامتصاص الهواء بين قمة الجبل وسفحه لها . وتنطبق هذه القاعدة تماماً فى حالة كهارب الأشعة الكونية ، ولكن لم يبد أنها تنطبق على الجسيمات حديثة الاكتشاف .

وفى عام ١٩٤٠ تمت تجربة هامة فى هذا المضمار على يد برونو روسى فى

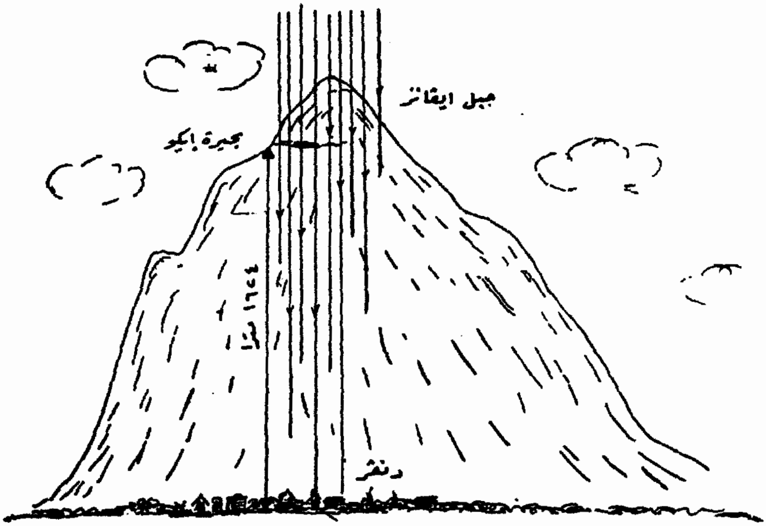
أيكوليك (بحيرة أيكو البالغ ارتفاعها ٣٢٤٠ متراً) بالقرب من قمة جبل إيفانز القريب من دنفر (التي يبلغ ارتفاعها ١٦١٦ متراً) كما في شكل (٨ — ١٩) ، وقد كان الفرق الباروميتري بين الموقعين ١٤,٥ مليمتراً أو ما يعادل مترين من الماء. واستعمل الرجل عدادين متجانسين من عدادات الميسونات ، أحدهما في دنفر والآخر على الجبل ، وقد كان الأخير مغموراً تحت سطح البحيرة بحوالى مترين*. وحيث إن مياه البحيرة سوف تعطى فى تلك الحالة نفس الامتصاص مثل طبقة الهواء بين بحيرة الجبل وشوارع دنفر ، كان من المتوقع أن كلا العدادين سيسجلان نفس النتائج. وعلى أية حال لم تؤيد التجربة هذا التوقع ، فلقد كان عداد دنفر يظهر باستمرار أعداداً من الميسونات أقل بكثير. وكان التعليل الوحيد الممكن هو أنه يوجد هناك سبب آخر خلاف الامتصاص الجوى الذى ينقص عدد الميسونات المقبلة إلى الأرض. واقترح أنريكو فرمى أن الظاهرة يمكن أن يكون مرجعها إلى علم الاستقرار الذاتى للميسونات. وفى الواقع نجد أنه لو انشطرت الميسونات فى أثناء هربها فإن شطائرها سوف تعتمد على الزمن الذى تستغرقه فى سفرها. وحيث إن الميسونات الهابطة إلى دنفر لابد أن تكون قد سافرت ١٦٢٤ متراً زيادة ، وحيث إنها من الناحية العملية تسافر بسرعة الضوء، فإن فترة الوقت المستغرقة هى $= \frac{١,٦ \times ١٠^{٥}}{٣ \times ١٠^{١٠}}$

$= ٥ \times ١٠^{-٦}$ ثانية . من هذا الرقم ومن تناقص الشدة الملحوظ عند مستوى الأرض يمكن إحصاء نصف فترة الحياة للميسونات التى اتضح أنها تعتمد بدورها على سرعتها . فبالنسبة للميسونات السريعة جداً والتى تبلغ طاقتها ٢٥٠ مليون ألكترون ڤولت تكون فترة الحياة حوالى ٢×١٠^{-٣} ثانية ، بينما رصدت للميسونات البطيئة التى تبلغ طاقتها ١٠٠ مليون الكترون ڤولت فقط فترة حياة مقدارها ٥×١٠^{-٤} . وتعطى هذه الملاحظات أول تأكيد عملى لقانون أينشتين عن التمدد الزمنى ، وتوافقت النتائج العملية مع القانون :

---

* فى التجربة الواقعية استخدمت قطعة من الحديد سمكها يعادل مترين من الماء ، ولكن استعمال مياه تلك البحيرة الجميلة يكون أكثر شاعرية (المؤلف) .

$$\Delta ن' = \frac{\Delta ن}{\sqrt{1 - \frac{ع^{2}}{أ^{2}}}}$$



شكل (٨ – ١٩)

تحلل الميسونات فى الطريق من بحيرة إيكو إلى دنفر

ويمكن من التجارب أن يقيس الفرد مدة حياة الميسونات بعد أن تستقر فى قطعة من مادة ماصة ، ولقد وجد أنها تكون قصيرة وتساوى : ٢,٥ × ١٠^-٦ ثانية . فإذا كان للميسونات سريعة الحركة فى الأشعة الكونية فترة الحياة هذه لأمكن أن تتحلل كلها وهى ما زالت عالية فى الجو ولم تكن لنلاحظها على الأرض .

ماذا يحدث للميسونات عندما تموت ؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال بتصوير مسارات الميسون وناتج تحلل الميسون . وليس من الضرورى وجود غرف التكاثف فى حالة جسيمات لها قوة نفاذ عالية مثل ميسونات الأشعة الكونية ، لأن هذه الغرف مهما كانت الظروف كبيرة الحجم بحيث لا يمكن إرسالها فى بالونات أو صواريخ . والطريقة المثلى فى هذه الدراسات تقوم على أساس استخدام ألواح تصوير لها طبقات استحلاب سميكة . ويكدس الكثير من هذه الألواح فى عمود ، وعندما يمر جسيم ذو طاقة عالية خلال مثل هذا العمود فإنه يؤثر فى حبات مستحلب التصوير الحساسة

الرابضة على طول الطريق . وبفحص الألواح (بعد تحميضها) تحت المجهر يلاحظ المرء خطوطاً طويلة من الحبات السمراء تدل على مسار الجسيم . ويدل مستحلب التصوير غليظ التركيب فى اللوحة رقم (٨) (العليا) على تتابع الأحداث التى نلتقط منها فى تلك اللحظة فقط آخر المسارات فى الصورة . فالمسار قبل الأخير (الذى يتجه من أسفل إلى أعلى ناحية اليسار) ينتمى إلى ميسون يمكن إثباته بإحصاء عدد حبات التصوير المتأثرة فى كل وحدة من وحدات طول المسار . والمسار الأخير (الذى يجرى من أعلى إلى أسفل ناحية اليسار) ينتمى إلى كهرب عادى تولد فى نقطة انتهى عندها مسار الميسون . وتثبت حقيقة أن الكهرب قذف فى اتجاه عكسى أنه لابد أن هناك جسيما أو جسيمات كثيرة اشتركت فى عملية التحلل، وكانت تنساب تجاه اليسار ، كما تثبت حقيقة عدم رؤية أية مسارات أخرى أن هذه لابد أن تكون متعادلة كهربياً ، وأن الاتجاهات والقوى الداخلة فى العملية تؤدى إلى أن هناك فى الواقع جسيمين آخرين هما أصدقاؤنا القدامى النيوترينات . وعلى ذلك يمكن وصف تحلل الميسون بالمعادلة :

ميسون سالب وموجب ← كهرب سالب وبوزترون + ٢ نيوترينو .

حيث تطابق + و — الميسونات السالبة والموجبة الشحنة . وحيث إن للميسون كتلة ٢٠٦ كهرب ، كما أن للكهرب كتلة كهرب واحد وليس للنيوترينو كتلة من الناحية العملية، إذن تتبقى كتلة ٢٠٥ كهرب دون سبب . وتبعاً لقانون أينشتين عن تكافؤ الكتلة والطاقة فإن الكتلة الزائدة سوف تتحول إلى حوالى ١٠٠ مليون الكترون فولت من الطاقة موزعة بين الجسيمات التى تكونت خلال التحلل .

وعندما اكتشفت الميسونات لأول مرة رحب بها كثيراً على أنها الجسيمات التى لابد أن تكون مسئولة عن قوى الترابط بين النيوكلونات تبعاً لنظرية يوكاوا عن تبادل الظاهرة ، ولكن سرعان ما اكتشف أن الموقف ليس بسيطاً على الإطلاق . فلقد قامت الصعوبة فيما يتعلق بمسألة ماذا ستفعل الميسونات عندما تبطىء فى مساراتها داخل كتلة سميكة من مادة ماصة . فكان من المتوقع فى هذه الحالة أن تختلف مصائر الميسونات الموجبة والسالبة . فبما أن الميسونات الموجبة تتنافر مع نوى المادة الذرية الموجبة الشحنة فإنها سوف تتجول كمجوعة منبوذة وتتحلل فى خلال قليل من أجزاء المليون من الثانية إلى بوزترون سريع وزوج من النيوترينات . وسوف يقذف

البوزترون مرتفع الطاقة خارج الكتلة (أو المجموعة) ويعبر أحد العدادات الكثيرة التى أحاطت بها مصائد الميسونات الكتلة معلناً موت ميسون موجب .

ومن الناحية الأخرى سوف يمسك الميسون السالب المبطئ على مدار كمى لإحدى النويات ويصبح عضواً مؤقتاً فى المجموعة الذرية . ودلت التسجيلات التى قام بها كل من إنريكو فرمى وإدوارد تللر على أن مثل هذا الأسر سوف يحدث بسرعة جداً قبل أن تواتى الميسون المبطئ فرصته للانشطار . وحيث إن أنصاف أقطار مدارات كم بور تتناسب عكسياً مع كتلة الجسيم ، فإن مسار هذا الميسون سوف يكون أصغر من أكثر مدارات الكهرب توغلا فى الداخل بحوالى ٢٠٠ مرة ، وإن الميسونات المأسورة سوف تتحرك قريباً من سطح النواة ، وبذلك تشبه إلى حد ما قمراً أرضياً . وتواجه الميسونات احتمالين إذا ما دخلت المدار ؛ يمكنها أن تنشطر إلى كهرب سالب سريع وزوج من النيوترينات وتسجل العدادات الموضوعة حول الكتلة موت ميسون سالب . ولكن عندما يتحرك الميسون قريباً جداً من النواة فمن الممكن أن تبتلعه . وفى الواقع إذا كانت القوى بين البروتونات والنيوترونات مرجعها إلى تبادل مستمر للميسونات بينهما فلابد أن يوجد التفاعل :

بيون موجب + ميون سالب ⟵ نيوترون° + نيوترينو° .

ومن شدة القوى النووية يمكن تقدير أن هذا لابد أن يكون تفاعلا سريعاً جداً يستغرق فقط حوالى $١٠^{-٢٢}$ ثانية . وبما أن التحلل الطبيعى للميسون يستغرق حوالى $١٠^{-٦}$ ثوان فإنه يترتب على ذلك أن الميسونات من الناحية العملية لابد أن تبتلعها النويات قبل أن تموت موتة طبيعية بكثير . وفى الغالب تكون أمام ميسون واحد من كل $١٠^{١٦}$ ميسوناً فرصة للانشطار إلى كهرب ونيوترينات قبل أن يلتهم . وعلى ذلك لن تقذف كهارب سالبة خارج كتلة تبطىء الميسون . ويختلف الدليل العملى مع تلك النتيجة اختلافاً بيناً . فبالرغم من أن عدد الكهارب السالبة الخارجة من كتلة التبطؤ كان أصغر من عدد بوزيترونات بعض المواد بحوالى ٢ ، وفى مواد أخرى بحوالى ١٠ ، إلا أنه كان من المؤكد أنها ليست أقل بحوالى $١٠^{١٦}$! ومعنى ذلك أن قابلية النوى للميسونات أصغر عدة ملايين البلايين من المرات عما هو مطلوب لقوة تبادل عظيمة كافية كما صورها يوكاوا . إذن ماذا يمكن أن يفعل الفرد ؟ فلقد تم

التنبؤ بالميسونات ، وتم اكتشافها ، ولكن كان الواضح أنها أنواع غير صالحة من الميسونات وأن النوى الذرية ليس لها اهتمام بها كما لا تهتم الأسود بالتبن. وجاءت النجدة من مستحلب تصوير غليظ أخذ فى عام ١٩٤٧ بوساطة أحد البالونات التى أطلقها عالم الفيزياء البريطانى : ك . ف . بوويل إلى طبقات الجو العليا . فلقد ظهر فى الصورة مساران متصلان عند نهايتهما ، ينتمى أحدهما إلى ميسون عادى كتلته ٢٠٦ ، أما الآخر فلا بد أن يكون قد نتج عن جسيم له نفس الشحنة ولكن كتلته ٢٧٣ . وفى بادئ الأمر أطلق على الجسيم الثقيل اسم « ميسون ثقيل » (مثل « ملاكم من وزن متوسط الثقيل ») ولكن سرعان ما أعيدت تسميته ببيون ميسون (أو « بيون pion ») ، على حين أن « الميسون الخفيف » الذى اكتشف أولا أعيدت تسميته بميدن ميسون (أو « ميون muon ») . ودلت الدراسات الأخيرة على أن البيون السالب أو الموجب يتحلل إلى ميون (موجب أو سالب) ونيوترينو واحد وفقاً للمعادلة :

بيون سالب وموجب ← ميون سالب وموجب + نيوترينو .

وهى تنتج فى طبقات الجو العليا نتيجة تصادم أشعة كونية ابتدائية (التى هى أصلا بروتونات عالية الطاقة جداً) مع نوى ذرية ويكون لها فترة نصف حياة قصيرة (٢,٦ × ١٠$^{-٨}$ ثانية) ، حتى إنه بالرغم من مساعدة قانون إينشتين للتمدد الزمنى لا تأتى إحداها إلى سطح الأرض . وتظهر فى الجزء العلوى من اللوحة رقم (٨ حزمة بيونات عند تصادم بروتون شعاع كونى أصيل مع نواة ما فى لوح التصوير ، ومسار إحداها مع تحولات متلاحقة إلى ميون وإلى كهرب . وبينما يوجد نوعان فقط من الميونات سالبة وموجبة نجد أنه توجد ثلاثة أنواع من البيونات سالبة وموجبة ومتعادلة ، والذى ذكر أخيراً ينشطر إلى كمى إشعاع لهما طاقة عالية :

ميون = متعادل ← ٢ جاما

مع نصف حياة حوالى ١٠$^{-١٦}$ ثانية فقط .

وانهالت فى السنين التالية أنواع أخرى كثيرة من الجسيمات على رؤوس علماء الفيزياء . فظهر ميسون ك كتلته ٩٦٥ كهربا ، وعدة جسيمات أثقل من البروتونات أطلق عليها اسم « الهيبرونات » . وفى الجدول رقم « ١ » تظهر أسماؤها وطريقة تحللها ونصف أعمارها .

وليس هناك ضمان لعدم اكتشاف جسيمات أكثر فى المستقبل القريب ، كما أن صور الأحداث الأولية تصبح أكثر تعقيداً كما يظهر فى اللوحة رقم (٨) السفلى . هذه الصورة أخذت بوسيلة حديثة معروفة باسم « حجرة الفقاعة » التى هى إلى حد ما عكس غرفة التكاثف . فبدلا من قطرات السائل المكونة فى الغاز يستعمل المرء هنا فقاقيع الغاز المكونة فى وسط سائل مثل سائل الهيدروجين . وبالرغم من أن معرفتنا الواقعية عن الجسيمات الأولية تتزايد بسرعة ، فإننا نصطدم بحائط صلب فى أى محاولة لفهمها ، وكل النظريات التى تم تطويرها فى هذا الاتجاه تبدو بعيدة جداً عن طبيعة البحث فى الظواهر الطبيعية .

فى المرآة

إذا وجد إنسان فردة حذاء يسرى فإنه يكون متأكداً أن الفردة اليمنى موجودة فى مكان ما تحت سرير أو كنبة. . . ونفس الشيء يحدث بالنسبة للقفازات وأكثر الأشياء الأخرى . ولكن قلوب كل الرجال والنساء موجودة فى الجنب الأيسر وزائدتهم الدودية موجودة فى الجانب الأيمن . وثمة حقيقة أخرى أساسية فى علم الحياة هى أن جزيئات البروتين الداخلة فى تكوين كل مخلوق حى سواء كان أميبا أو رجلا أو سمكة رنجة أو شجيرة ورد لها نظام يسارى ، وأن دنيا النبات والحيوان ذات النظام اليمينى لا وجود لها على سطح الأرض . والغريب إذن هو أنه كلما ركب عالم كيمياء عضوية بروتينات من العناصر يحصل على ٥٠ ٪ من الجزيئات اليسارية و ٥٠ ٪ من الجزيئات اليمينية . ومن المحتمل أنه فى أثناء المراحل الأولى لتطور الحياة على كوكبنا كان يوجد عالمان من عوالم الحياة : أحدهما يمينى ، والآخر يسارى . وحيث إنهما كانا غير قابلين للهضم وسامين أحدهما بالنسبة للآخر ، فمن الممكن أنهما اشتبكا فى معركة دمر فيها أحد الجانبين تدميراً تاماً .

ولكن فى الفيزياء العادية المنتظمة كان مبدأ صورة المرآة (المعروف باسم « مبدأ التشابه ») يتبع دائماً ، وألفنا أن نجد لكل عملية طبيعية عملية أخرى تشبهها مثل صورة المرآة . وفى عام ١٩٥٦ اقترح عالمان من علماء الفيزياء اليابانيين — وهما شابان من أصل

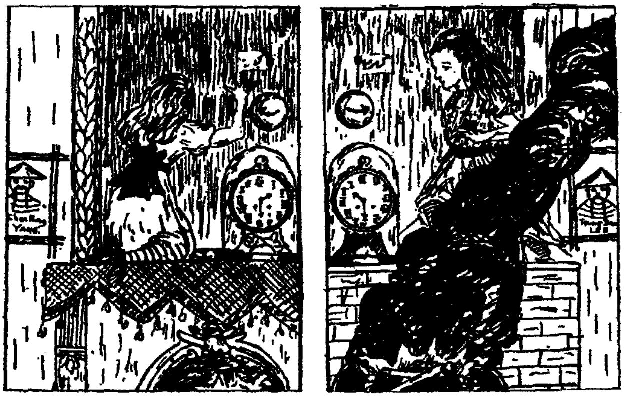
جدول رقم ١ – خصائص جسيمات المادة الأولية

الاسم	الكتلة بكتلة الكهرب	متوسط الحياة بالثواني	طريقة التحلل	الكتلة معبراً عنها بمقدار ١٣٧ إلكترون
اكساى	٢٥٨٥	$١٠^{-١٠}$	لمدا + بيون سالب وموجب	١٨,٨٨
سجما	٢٣٣٠	$١٠^{-١٠}$	نيوترون + بيون سالب وموجب	١٧,٠٢
لمدا	٢١٨٢	$٢,٧ \times ١٠^{-١٠}$	بروتون موجب + بيون سالب أو نيترون + بروتون موجب	١٥,٩٢
نيوترون	١٨٣٨,٦	$١٠^{٣}$	بروتون موجب + كهرب سالب + نيوترينو	١٣,٤٠
بروتون	١٨٣٦,١	ثابت		
تايون	٩٦٦,٥	$١٠^{-٨}$	بيون سالب وموجب + بيون معدل + بيون معدل إلخ	٧,٠٥
ثيتون	٩٦٥	$١٠^{-١٠}$	بيون معدل + بيون معدل أو موجب + بيون سالب	
بيون ط^{٢}	٢٧٣,٢	$٢,٦ \times ١٠^{-٨}$	ميون سالب وموجب + نيوترينو ٢ جاما	١,٩٩٥
بيون ط^{٠}	٢٦٤,٢	$١٠^{-١٦}$		١,٩٢٨
ميون	٢٠٦,٧	$٢,٢ \times ١٠^{-٦}$	كهرب سالب ولوزترون + ٢ نيوترينو	١,٥١١
كهرب	١	ثابت		
نيوترينو	صفر	ثابت		

أمريكي يدعوان تشن ننج يانج وتسونج داو لى – أن هذا يمكن ألا يكون صحيحاً فى حالة الجسيمات الأولية ، وكان اقتراحهما يقوم على أساس اعتبارات نظرية . وكما سبق ذكره مراراً يمكن اعتبار الجسيمات الأولية والنيوترونات بوجه خاص كمغازل تدور حول محاورها . وبالطبع يمكن أن يكون هذا الدوران مثل دوران الساعة أو ما يحكيه ، ويمكن تحويل كل من حالتى الحركة إلى الأخرى ببساطة ، وذلك بقلب المغزل . والكهرب المنبعث من تحلل النيوترون ينطلق على طول محور دورانه . وكان المعتقد أن الكهارب تطلق بنفس الاحتمال فى كلا الاتجاهين (وبعبارة أخرى خلال القطب الشمالى أو الجنوبى) . فإذا كان هذا صحيحاً توافر بذلك مبدأ التشابه ،

وتكون صورة المرآة للنيوترون المتحلل مطابقة للأصل، حيث إن كل ما على المرء أن يفعله ليجعلهما يتفقان هو أن يقلب أحدهما . وعلى أية حال إذا كان الكهرب يطلق فى اتجاه واحد باستمرار – « شكل ٨ – ٢٠ ا » – لتغير الموقف تماماً . ففى الواقع سيجد المرء عند النظر إلى صورة نيوترون متحلل فى مرآة –« شكل٨ – ٢٠ ب» أنه لا توجد طريقة لقلبه حتى يتفق مع الأصل . ولو كان الكهرب ينبعث فى كلتا الحالتين إلى أعلى كما فى شكل (٨ – ٢٠) فإن النيوترونين يدوران فى اتجاهين عكسيين ، وعلى هذا يكسر مبدأ التشابه ويكون سلوك الجسيمات الأولية من ناحية المرآة الأخرى لا يتفق مع الأصل الذى أمامها .

ولاختبار فرض يانج ولى أجريت تجربة مباشرة لاكتشاف ما إذا كان هناك أى علاقة بين اتجاه دوران النيوترون واتجاه إطلاق الكهرب . فخفضت درجة حرارة مادة ذات نشاط إشعاعى من مواد تحلل بيتاً إلى درجة منخفضة جداً ووضعت فى مجال مغناطيسى قوى . وعندما انعدمت عملية التقلبات الحرارية تحت



شكل (٨ – ٢٠)

صورة المرآة لتحلل نيو ترون

وطأة هذه الظروف أصبح اتجاه انبعاث كل الذرات واحداً على طول خطوط قوى المغناطيس . فإذا ما انبعثت الكهارب بالتساوى فى كلا الاتجاهين بالنسبة لمحور دوران النيوترونات ، فإننا سوف نرى أعداداً متساوية منها تطير تجاه قطبى المغناطيس الكهربى الشمالى والجنوبى. ومهما يكن شيء من فقد أدت التجربة إلى نتيجة عكسية تماماً ، وكما تنبأ يانج ولى ، كانت كل الكهارب تطير فى نفس الاتجاه .

وسرعان ما تم الحصول على نفس النتيجة بالنسبة لتحلل الميوميسون بعد ذلك .

وكان هذا هدماً لمبدأ التشابه ، أثبت أن عالم الجسيمات الأولية عالم غير متوازن الجانبين ، وإلا فأين نصفه الثانى الذى ينتمى إلى فيزياء (خلال المرآة) ؟ إننا لا نعرف الإجابة ، ولن نعرفها حتى يتم فهم طبيعة العناصر الأولية الأساسية .

مستقبل الفيزياء

يتضح مما سبق أن مستقبل الفيزياء رهين بما نقوم به من دراسات ، وما يجد على فهمنا وإدراكنا للجسيمات الأولية . وبينما نجد أن التجارب فى هذا الميدان تسير نحو التقدم فإن الآراء النظرية ما زالت كما هى . ومنذ حوالى خمسة وعشرين قرنا افترض ديموقريطس أن المادة تتكون من أجزاء منفصلة صغيرة ، ونحن الآن فى طريقنا إلى الاقتناع أكثر وأكثر بهذا الافتراض . ومنذ نحو نصف قرن فقط عرفنا أن الطاقة أيضاً لها بناء « ذرى » . فنحن نتكلم الآن عن كم الطاقة . وفى خلال السنوات الستين الماضية عرف علماء الفيزياء كيف يسبغرن الكم على أنواع الطاقة المختلفة . فى حالة الإشعاع الكهرمغناطيسى يمكن أن يعبر عن الطاقة بقيمة (ن هـ ٧) ، حيث ٧ هى عدد الذبذبات ، ن رقم صحيح . وفى حالة ذرة الهيدروجين البسيطة تتناسب طاقة حالات الكم المختلفة مع $\frac{1}{ن^2}$ حيث ن رقم صحيح كذلك . وفى حالات أخرى أكثر تعقيداً أعطيت الإجابات الصحيحة عن طريق معادلات شرودنجر وديراك . أما فى حالة الجسيمات المادية فإننا ما زلنا فى عالم من الجهل المطبق . فنحن لانعرف لماذا تكون لشحنة كهربية نفس القيمة ٤,٧٧ × ١٠$^{-١٠}$ وحدة كهربية ستاتيكية باستمرار . وليست لدينا أدنى فكرة عن سبب إسباغنا الكم على كتل الجسيمات عندما تكون لها القيم النسبية المبينة فى الجدول رقم (١) ، كما أنه ليست لدينا فكرة أحسن من فكرة ديموقريطس عن مشكلة تكون المادة من جسيمات غير قابلة للتقسيم بدلا من أن تكون متصلة فى واقع الأمر .

ومن إجابة الأسئلة السابقة سوف تتكون فيزياء المستقبل . ولكن لم تتخذ فى الحقب الماضية من الزمن أية خطوة موفقة للوصول إلى الأجوبة ، ولا يستطيع أحد

التنبؤ عن الزمن الذى فيه تم الإجابة عليها ، ولكن بالرغم من أن أحداً لا يعرف الإجابة إلا أنه لا يلزم أن يلام المرء على تفكيره فى هذا النوع من المشكلة . دعنا نناقش الشحنة الابتدائية ى مثلا : من المعروف أن ى^{٢} مقسومة على حاصل ضرب سرعة الضوء ا والكمية الثابتة هـ تكون رقماً صحيحاً أو كمية ثابتة لا أبعاد لها . ومعنى ذلك أنه لا تأثير ، سواء عبرنا عن ى ، ا ، هـ بوحدات السنتيمتر والجرام والثانية أو بالبوصة والرطل والساعة أو بأية وحدات أخرى (على شرط أن تكون مستعملة باستمرار) ، فإن هذه النسبة تظل كما هى . وهى تعرف باسم « ثابت التركيب الدقيق » ، لأنها إنما انبعثت من وصف انتشار مجموعة خطوط بالمر إلى عدة مركبات متقاربة جداً ، ويعبر عن قيمتها بواحد مقسوماً على ١٣٧ . ولكن لماذا ١٣٧ وليس ٧٥ أو ٥٣٣ ؟ فى قوانين الفيزياء يكون دائماً للتكرار العددى معنى رياضى . فمثلا إذا درس المرء العلاقة بين مدة ذبذبة البندول تَ وطوله ل وعجلة الجاذبية ج مهما كانت الوحدات التى يستعملها الفرد فإنه سيصل دائماً إلى القانون :

$$\text{تَ} = ٦,٢٨٣ \sqrt{\frac{\text{ل}}{\text{ج}}}$$

فماذا يكون هذا الرقم ٦,٢٨٣ ؟ حسناً ، إذا حاول أحد أن يربط هذا الرقم بالأعداد المختلفة المعروفة فى علم الرياضة فسوف يجد أنه فى الواقع ٢ ط . وباستعمال معادلات الميكانيكا النظرية لاستنباط ذلك القانون سوف نجد أن المعامل لابد أن يكون ٢ ط . وكذلك عند استنباط تعبير عن شحنة ابتدائية باستخدام معادلة الكم النسبى التى تشتمل على الثوابت ا ، هـ ، لا بد أن يصل الفرد إلى أن النسبة $\frac{\text{هـ ا}}{\text{ى}^{٢}}$ (عكس ثابت التركيب الدقيق) التى تعطى بوساطة تعبير رياضى معين يكون متساوياً عددياً مع ١٣٧ . ولكن لا يعرف أحد فى الوقت الحاضر كيف يصل إلى مثل هذه النظرية . وبينما أنه ليس من الصعب التخمين بأن العدد ٦,٢٨٣ هو ٢ × ٣,١٤١٠٠٣ ، إلا أنه من الصعب جداً أن نخمن أى نوع من الحيوان يكون هذا الرقم ١٣٧ .

وقام السير آرثر ادنجتون الذى ساهم مساهمة فعالة فى نظرية التكوين الداخلى

للنجوم بإجراء تجربة جريئة لشرح الرقم ١٣٧ منذ عدة سنين . وجرت مناقشته كما يلى :

إننا نعيش فى عالم له أربعة أبعاد (س ، ص ، ع ، ت ا ن) و ٤ × ٤ = ١٦ . لذا دعنا نبن إحدى المصفوفات ، أعنى جدولا مربعاً به ١٦ خطا أفقياً و ١٦ عموداً . ودعنا أكثر من ذلك نفترض المصفوفة « متشابهة » بالنسبة لقطرها ، أى إن محتويات مربع فى الخط الأفقى النونى والعمود الميمى تنطبق تماماً مع محتويات مربع فى الخط الأفقى الميمى والخط العمودى النونى . فكم سيكون عندنا من المربعات المنفصلة ؟ حسناً ، إنه ليس من الصعب إحصاؤها . فمجموع مربعات المصفوفة هو ١٦ × ١٦ = ٢٥٦ مربعاً . من هذه المربعات ينتمى ١٦ مربعاً إلى القطر ويتبقى بعد ذلك ٢٤٠ . وعلى ذلك فكل منطقة مثلثة الشكل على جانبى القطر سوف يكون بها ١٢٠ مربعاً . وحيث إن المربعات متطابقة على كلا جانبى القطر ، إذن يتبقى عندنا ١٢٠ مربعاً منفصلا . وينتج عن إضافتها إلى الستة عشر مربعاً الموجودة على القطر ١٣٦ مربعاً . وفى الوقت الذى وصل فيه ادنجتون أول الأمر إلى هذه العلاقة كان المعتقد أن القيمة العملية هى ١٣٦ . ولكن بعد مضى قليل من السنين أثبتت القياسات أنها ١٣٧ ، ولقد أجبر ذلك ادنجتون على إخراج « نظرية التعديل » يطلب بها إضافة وحدة .

ولقد قوبلت فكرة ادنجتون هذه بالسخرية فى مقال قصير بقلم ج . بيك ، ه . بيتى ، و . ريزلر نشر فى عدد ٩ يونية عام ١٩٣١ من المجلة الألمانية « ناتور فيسنشافتن » ، وقد كان نص تلك الورقة التى حاولت إثبات أن شعوذة الأرقام عمل خطر على النحو الآتى :

« بعض الملاحظات على نظرية الكم لدرجة حرارة الصفر » .

دعنا ننظر إلى بلـورة سداسية ، تتميز نقطة صغرها المطلق بتجمد كل درجات الانطلاق فيما عدا ، بطبيعة الحال ، حركة الكهارب على مدارات بور . وكما يقول ادنجتون لكل كهرب $\frac{١}{\text{الفا}}$ = ١٣٧ درجة من درجات الانطلاق . والبلـورة تحتوى إلى جانب الكهارب عدداً مساوياً من البروتونات . وللوصول إلى درجة حرارة الصفر

لابد أن ننسب إلى كل نيوترون (أى بروتون زائد كهرب) $\frac{٢}{ألفا}$ — ١ درجة من درجات الانطلاق ، حيث إن إحدى درجات الانطلاق تجمدت فى أثناء حركة الكهرب فى مداره ، وبذلك نحصل على درجة حرارة الصفر على النحو الآتى :

$$\text{درجة حرارة الصفر} = -\left(\frac{٢}{\text{ألفا}} - ١\right) \text{درجة}$$

وبافتراض أن $\frac{١}{ألفا}$ = ١٣٧ نحصل على درجة حرارة الصفر :

درجة حرارة الصفر = ٢٧٣ درجة

وهذه تتفق إلى حد كبير مع القيمة التجريبية . ونحن نلاحظ أن نتيجتنا مستقلة عن رأى اختبار معين للبلورة .

وبطبيعة الحال نجد أن العلاقة العددية المذكورة بين ١٣٧ ، ٢٧٣ مصادفة محضة ، حيث إنه فى الوقت الذى يعتبر فيه ١٣٧ عدداً صحيحا حقيقيا ، فإن درجة حرارة الصفر المطلقة سوف تعطى بأعداد مختلفة تعتمد على استعمالنا إما لدرجة الحرارة بالسنتيجراد ، وإما الفهرنهيت ، وإما موازين رومر للحرارة . وبعد نشر المقالة ، تلقى محرر المجلة بياناً من عالم فيزياء ببرلين جاء فيه أن المقالة عبارة عن أضحوكة . وعندئذ كتب خطاباً شديد اللهجة إلى المؤلفين الذين كانوا فى ذلك الوقت يعملون فى جامعة كمبردج ، فردوا عليه رداً متواضعاً جاء فيه أنهم يأسفون لسوء الفهم ، وأنهم كانوا متأكدين أن الورقة سوف تعتبر تهكماً على الطريقة التى يبنى بها علماء معينون من علماء الفيزياء نظرياتهم .

وعلى ذلك جاء فى العدد التالى من مجلة « ناتورفسنشافت Naturwissenschaften » استدراك من المحرر جاء فيه أنه يأمل أن يفهم كل القراء أن ورقة بيك وبيتى وريزلر كانت مجرد تهكم . عندئذ انفجر غضب السير آرثر ادنجتون .

وها هى ذى قطعة من الشعر كتبها فى ذلك الوقت فلاديمير ألكسندوفتش فوخ الآنف ذكره * .

* نقلها إلى الإنجليزية ب . ب . ج عن أصلها الروسى المنقول عن الألمانية (المؤلف) .

١٣٧ — ١٨٤٠

بالرغم من أنه يمكننا وزنها فى الحال ،
وسواء أكنا متعبين أم أصابنا دوار البحر ،
إلا أن مائة وثلاثة وسبعين لا تزال ،
بالنسبة إلينا جامدة كالصخر .
ولكن ادنجتون كان يراها غير مضنية
وأنكر أولئك الذين يميلون إلى السخرية
فهو يقول إنه رقم مهم ويعبر كذلك
عن أبعاد الكون ، فهل يمكن ذلك ؟
الدنيا التى تضمنا ونعيش على ثراها ؟
الدنيا التى فيها السير آرثر ادنجتون يعيش كادحاً
هى نفس الدنيا التى نشمها ونراها ؟
آه على رسلك ، إنه لا يمكن إلا أن يكون مازحاً .
وإلا فها هوذا رقم من عندى أنا
إننى أمرح (وكما تدين تدان)
ألف وثمانمائة وأربعون برهنت هنا
على أنه يعادل رقمه دون أن يخسر الميزان .
يا سير آرثر ، احتفظ لنفسك برقمك الصغير
فهو لك من الآن حتى ترجف الراجفة
أما رقمى واحد وثمانية وأربعة وصفر الكبير
فإنما يناسب عالماً ما زال علينا أن نعرفه !
إذن استمر واعرض ما شئت وارتع
فى مجالى أنا وفى كل الميادين
دع هذه الأرقام الأربعة تضىء وتلمع
حتى تدهش الشياطين .

كل هذا حدث منذ حوالى ثلاثين سنة ، ولكن إلى اليوم ما زلنا لا نعرف لماذا يكون ذلك الرقم ١٣٧ ، كما أننا لا نعرف أشياء أخرى ، وما إذا كان « تعليل » ادنجتون مرجعه إلى المصادفة ، أم أن به أى عنصر من الواقع . وبطبيعة الحال يمكن للمرء أن يعتبر مجهود ادنجتون على أنه « استنباء بالأعداد » وهو مفهوم سيء فى هذه الأيام ، ولكن هناك كلمة قريبة جداً وهى « نظرية الأرقام » وهى فرع عظيم ومشرف من فروع الرياضة البحت. وغالباً ما كان علماء الفيزياء يتطلعون إلى مساعدة الرياضة البحت عند محاولتهم حل ألغاز الطبيعة ، وفى كثير من الأحيان كانوا يحصلون عليها . فعندما أراد أينشتين تفسير الجاذبية على أنها انحناء للارتباط المكانى والزمانى ذى الأربعة الأبعاد ، وجد فى انتظاره نظرية ريمان عن المكان المنحنى كثير الأبعاد . وعندما تطلع هيزنبرج إلى نوع غير عادى من الرياضة ليصف حركة الكهارب داخل الذرة كان الجبر غير القابل للتجميع فى انتظاره . ولكن ما زالت نظريتا الأرقام والتوزيع (التحليل الوضعى) مجرد مبادىء رياضية بحت دون أى تطبيق على الفيزياء ، فهل من الممكن مناداتهما لمساعدتنا فى فهمنا مستقبلا ومعاونتنا على حل ألغاز الطبيعة ؟ ولكن عند العودة إلى مشاكل الفيزياء مستقبلا من المحتمل أن يلاقى المرء صعوبات أكثر تعقيداً عند شرح كتل الجسيمات الأولية عما يعترض سبيله عند شرح شحناتها الكهربية . وفى الواقع فإن أى قانون يمكن أن يعبر عن الكتلة بدلالة السرعة (س) والفعل (ه) مع إدخال رقم ثابت ، لابد أن يشتمل على الطول . ويمكن للمرء أن يكتبه هكذا :

$$\text{الكتلة} \times \quad = \frac{\text{الفعل}}{\text{السرعة} \times \text{الطول}} \text{ ،}$$

حيث أ هنا هى رقم ما معقول مثل ١ ، ٢ ، $\frac{٣}{٥}$ ط ، $\frac{١}{٢}$ ط ٢ . . إلخ . ولو أننا أخذنا أ على أنه حوالى ١ والفعل الذى يساوى ه هو (٦,٥٥ × ١٠$^{-٢٧}$) والسرعة س تساوى (٣ × ١٠^{١٠}) وأردنا الحصول على كتلة جسيم مادى ، أوبعبارة أخرى كتلة ميسون (٢× ١٠$^{-٢٥}$) فلابد أن نعتبر الطول مساوياً نحو ١٠$^{-١٢}$سم . وبطبيعة الحال لو أن ا لا تساوى ١ ، ولكن دعنا نقل ٢ ط (نحو ٦) أو ط ٢ (نحو ١٠) ، فإنه يمكن للطول أن يكون قصيراً مثل ١٠$^{-١٣}$سم . والطول الذى على هذا القدر

شائع جداً فى فيزياء الجسيمات الأولية : « فنصف قطر الكهرب » المرصود على أساس نظرية علم الديناميكا الكهربية هو ٢,٨ × ١٠$^{-١٣}$ سم ، فى حين تعرف المسافة التى عندها تبدأ القوى النووية العمل بين جسيمين بنحو ١,٤ × ١٠$^{-١٣}$ سم وعلى ذلك يبدو أن الطول الذى يبلغ عدة مرات ١٠$^{-١٣}$ سم له دلالته أساسية فى مشاكل الجسيمات الأولية .

والآن ومنذ عشرات السنين من الزمن يخالج علماء الفيزياء النظرية أمل فى أن الطول الذى من نوع ١٠$^{-١٣}$ سم الذى يسمى عادة λ ، يلعب دور الطول الأولى فى تطوير النظرية مستقبلا . وكما أن ا هى أعلى سرعة ممكنة فى نظرية النسبية و Φ هو أصغر فعل ممكن فى نظرية الكم فإن λ قدر لها أن تقوم بلدور أقصر مسافة ممكنة فى النظرية الخاصة بالمادة مستقبلا . وكما يقال فإنها سوف تكون « قطراً لنقطة رياضية » ولن يكون لها معنى عند الحديث عن مسافات أصغر من ذلك . هذا الاحتمال يعتبر حلماً شيقاً ومثيراً ومن الممكن أن يتحقق ، ولكن لا أحد يدرى الآن متى سيكون .

وللوصول إلى نهاية درامية لهذا المؤلف الذى أصبح طويلا إلى حد ما يمكننا الإتيان بعلاقة استنباء رقمى رصدت فى مجال الجسيمات الأولية . وبما أننا لا يمكننا فهم معنى ١٣٧ ، إذن دعنا نعبر عن كتل كل الجسيمات الأولية ب ١٣٧ كتلة كهرب . النتيجة منشورة على الجدول رقم (١) (ص ٤١٩) ونحن نرى أن كل الأرقام تقريباً قريبة من الأرقام الصحيحة فيما عدا اثنين فهما قريبان من رقم صحيح ونصف . ومن الممكن أن تكون مصادفة ، ولكن المصادفة من هذا النوع تكون واحدة من كل عدة ملايين . وإذا لم تكن مصادفة فماذا يكون معناها ؟ هل يمكن تفسير تتابع « الأرقام المقدسة » :

١٩ ، ١٧ ، ١٦ ، ١٣$\frac{١}{٢}$ ، ٧ ، ٢ ، ١$\frac{١}{٢}$

على أساس نظرية معقولة ؟ هل يمكن مثلا أن تكون لها عند ربطها بنظرية الأرقام علاقة بتتابع الأعداد الأولية أو تتابع الأعداد الأكثر تعقيداً ؟ أو أنها عند ارتباطها بالتوزيع كانت لها علاقة بعدد الرؤوس والحافات والوجوه وحدود الفراغ للسطوح ذات الأبعاد الأربعة ؟ إننا لا نعرف . ولكن دعنا نأمل أن جهود علماء الفيزياء فى الأجيال المستقبلة سوف تصل بهذه المشاكل إلى حل مظفر .

قائمة المصطلحات

(ا)

احتكاك	Friction
الأجسام الطافية	Floating Bodies
أدامز ، ج. ك	Adams, J.C.
إدنجتون ، آرثر	Eddington, Arthur
أرسطو	Aristotle
أرشميدس	Archimedes
إروين شرودنجر	Erwin Schrödinger
استقطاب	Polarization
آستون ، ف. و.	Aston, F.W.
الإسكندر الأكبر	Alexander the Great
أشعة ألفا	Alpha rays
إشعاع	Radiation
أشعة بيتا	Beta rays
أشعة جاما	Gamma rays
أشعة كونية	Cosmic rays
أشعة المهبط	Cathode rays
الاعتدالين	Equinoxes
اكتنيوم	Actinium
ألبرت أينشتين	Albert Einstein
أمبير ، أندرى مارى	Ampère, Andrè Marie
امتصاص	Absorption
أمواج طائرة	Pilot Waves
أنالين دير فيزيك	Annalen der Physick
انحناء الفضاء	Curvature of space
انريكو فرمى	Fermi, Enrico
انكسار الضوء	Refraction of light
انكسار الضوء	Dioptrics
انشطار نووى	Nuclear Fission
انكماش—تقلص	Contraction
انكماش فتزجيرالد	Fitzgerald contraction
الإيونات	Ions

(ب)

باريوم	Barium
بالمر ، ج. ج.	Balmer, J.J.
براج ، و .	Bragg, W.
البروتونات المضادة	Antiprotons
بروتون خفيف	Light Proton
بلاكت ب. م. س.	Blackett, P.M.S.
بنيامين آبوت	Abbott, Benjamin
البورون	Boron
بيفاترون	Bevatron
بيك ، ج	Beck, G.

بيون	Pion
بيير كورى	Curie, Pierre

(ت)

التأثير المنتج	Induction
تايون	Tauon
تحلل أشعة ألفا	Alpha decay
تحلل بيتا	Beta decay
تحليل كهربى	Electrolysis
تحويلا لورنتز	Lorentz transformations
تخيلى	Imaginary
ترمومتر غازى	Gas thermometer
تساوى توزيع الطاقة	Equipartition of energy
تشتت أو تناثر	Scattering
تعادل	Equilibrium
تمدد	Dilatation
التنجيم	Astrology
تيخو براهي	Tycho Brahe

(ث)

ثابت عديم الأبعاد	Dimensionless Constant
ثيتون	Theton
ثيون	Theon

(ج)

الجاذبية	Gravitation
الجبر	Algebra
الجدول الدورى	Periodic system
جزيئات	Molecules
جسم الشمس أو الكرة المرئية (الفوتوسفير)	Photosphere
جسيمات ألفا	Alpha particles
الجلفانومتر	Galvanometer
جهد	Potential
جول ، ج. ب.	Joule, James Prescott
جوهان كبلر	Kepler, Johannes
جيمس جينس	Jeans, James
جيمس شادويك	Chadwick, James
جيمس كلارك ماكسويل	Maxwell, James Clerk
جين بيران	Perrin, Jean

(ح)

حجرة الفقاعة	Bubble chamber
حرارة كامنة	Latent heat
الحركة البراونية	Brownian Motion
حركة حرارية	Thermal Motion
حساب التفاضل والتكامل	Calculus
حيود	Diffraction

(خ)

الخط الكونى أو الخط العام	World line
خطوط فراونهوفر	Fraunhofer lines

(د)

دانيال بيرنولى	Bernoulli, Daniel
داين	Dyne
درجة التعادل أو مقياس الترتيب	Entropy
درجة الحرارة المطلقة	Absolute temperature
دورة الكربون	Carbon cycle
ديراك، ب . أ.م	Dirac, Paul Adrien Maurice
ديناميكا	Dynamics
دى برولى، لويس	De Broglie, Louis
الديناميكا الحرارية	Thermodynamics

(ذ)

ذبذبة	Vibration
الذرة	Atom

(ر)

الرادار	Radar
رافعة	Lever
رذرفورد إرنست	Rutherford, Ernest
الرقم الذرى	Atomic number
روبرت أوبنهيمر	Oppenheimer, Robert

(ز)

زجاجة ليدن	Leyden Jar

(س)

السائل النووى	Nuclear Fluid
سعر	Calorie
سفينة صاروخية	Rocket ship
السيكلترون	Cyclotron

(ش)

شفاف	Transparent
شيشرون	Cicero

(ط)

طاقة	Energy
طاقة حركة	Kinetic energy
الطاقة الذرية	Atomic energy
طيف	Spectrum

(ظ)

ظاهرة	Phenomenon
ظاهرة دبلر	Doppler effect
ظاهرة كمتن	Compton effect

(ع)

عجلة	Acceleration
عداد جيجر	Geiger counter
علاقات عدم التثبت	Uncertainty Relations
عمود ڤولتا	Volta pile
عيب الكتلة	Mass defect

(غ)

غاليليو غاليلى	Galileo, galilei
غرفة التكاثف أو غرفة السحابة	Cloud chamber
غواصات ذرية .	Atomic Submarines

Gas Laws	قوانين الغازات
Centrifugal force	قوة طاردة مركزية
Force	قوة
Rainbow	قوس قزح

(ك)

Catoptrics	كاتوبتركس أو الانعكاس
Carl Anderson	كارل أندرسون
Atomic icebreakers	كاسحات الجليد الذرية
Mass	كتلة
Cadmium	كدميوم
Chromosphere	الكروموسفير أو الكرة الملونة لجسم الشمس
Cosmotron	كزموترون
Electroscope	كشاف كهربى
Efficiency	كفاءة أو درجة النجاح
Chlorine	الكلور
Compton, Arthur	كمتن ، آرثر
Energy quanta	كم الطاقة
Momentum,	كمية الحركة
Quantity of matter (mass)	كمية المادة (أو الكتلة)
Cockroft, John	كوكروفت، ج .

(ف)

Faraday, Michael	فارادى ، ميخائيل
Van de Graaff	ڤان دى جراف
Fitzgerald, G.F.	فتزجيرالد، ج. ف .
Action	فعل
Astronomy	الفلك (علم)
Foucault, Jean	فوكولت ، جين
Volta, Alessandro	ڤولتا ، أ .
Pythagoras	فيثاغورث
Werner Heisenberg	فيرنر ، هيزنبيرج

(ق)

Bernoulli's principle	قاعدة برنولى
Archimedes'Law of floating bodies	قانون الأجسام الطافية لأرشميدس
Ohm's law	قانون أوم
Boyle's law	قانون بويل
Law of equivalence	قانون التكافؤ
Archimedes' law of lever	قانون الرافعة لأرشميدس
Charles' Law	قانون شارل
Inertia	قصور ذاتى
Satellite	قمر صناعى
Nuclear Bombs	قنابل نووية
Atomic bomb	القنبلة الذرية

كولوم ، شارل أوجسطين دى	Coulomb, Charles Augustin de
الكهارب البليدة (لهاكتل سالبة)	Donkey electrons
كهرومغناطيسية	Electromagnetism
كهرومغناطيسى	Electromagnetic
الكيمياء الخرافية أو (الكمى)	Alchemy

(ل)

لدفيج بولتزمان	Boltzmann, Ludwig
لولب أرشميدس	Archimedes' screw
ليثيوم	Lithium

(م)

المادة المضادة	Antimatter
مبدأ عدم التثبت أو التخفف	Uncertainty Principle
متوالية أو متسلسلة	Series
متوالية بالمر	Balmer series
متوسط المسار الحر أو متوسط المسار الطليق	Mean free path
مجال	Field
المجال المتحد أو المجال الموحد	Unified field
المجسطى	Almagest
مخروط الضوء	Light cone
مسار — خط سير	Trajectory
المسار الحر أو الطليق	Free path
مستعرض	Transversal
محطمات الذرة	Atom smashers
مدرسة الإسكندرية	Alexandrian School
المرونة	Elasticity
مصباح بنزن	Bunsen burner
المصعد (القطب الموجب)	Anode
مصفوف (ماتركس)	Matrix
مصفوفات	Matrices
مغناطيس كهربائى	Electromagnet
المغناطيسية	Magnetism
مقاومة	Resistance
المهبط (القطب السالب)	Cathode
مكان زمنى	Space-time
منطق	Logic
المهبط المضاد	Anti-Cathode
موجات دى برولى	De Broglie waves
ميزوثوريوم أو الثوريوم الأوسط	Mesothorium
ميسوترون	Mesotron
الميسون	Meson
ميكانيكا سماوية	Celestial Mechanics
ميكانيكا موجية	Wave mechanics
ميكانيكا النسبية	Relativistic mechanics
ميون	Muon

(ن)

النجم القطبي	Polaris
نشاط إشعاعى	Radioactivity
نصف العمر	Half life
النظائر أو التوائم	Isotopes
نظرية حائل الجهد	Theory of the potential barrier
نظرية الحركة للحرارة	Kinetic Theory of heat
نظرية ذات الحدين	Binomial theorem
نظرية الكم	Quantum Theory
نظرية النسبية	Theory of Relativity
نقولا كبرنيق	Copernicus, Nicolaus
نموذج ذرى	Atomic model
نواة الذرة	Atomic nucleus
نوى على هيئة كتل العجين	Doughnut nuclei
نيل بور	Bohr, Niels
النيوترونات المضادة	Antineutrons
النيوترون	Neutron
نيون	Neon

(ه)

الهالات	Hallows
هزة الاعتدالين	Precession of equinoxes
هنرى بكريل	Becquerel, Henri
هنرى كافندش	Cavendish, Henry
هيبارخوس	Hipparchus
هيبرونات	Hyperons
هيجنز ، ك .	Huygens, Christian
هيدروستاتيكا أو علم توازن السوائل	Hydrostatics
هيرون أو (هيرو)	Heron
هيليوم	Helium

(و)

والتون ، ا . ت . س .	Walton, E.T.S.

(ى)

يعكس أو يرد	Reflect
اليورانيوم	Uranium
يوكونات	Yukons

كشاف تحليلى

(ا)

اتحاد المكان والزمان ٢٤٩

احتكاك ١٠٩ ، ١١٧ ، ١٥٥ – ١٥٦

الإحصاء الكمى ٣٦٢ – ٣٦٣

الأجسام الطافية ٥٢ – ٥٤

آدامز ، ج . ك . ، ١١٦

إدنجتون آرثر ٤٠٢ – ٤٠٣ ، ٤٢٢ ، ٤٢٤ – ٤٢٦

أرسطو ٤٣ – ٤٤ ، ٧٠ ، ٨٩ – ٩٤

أرشميدس ٤٤ – ٦٧ ، ٧٧ ، ١٢٠

أرشميدس المستشار الحربى ٥٥

أرشميدس والتاج ٤٥

أروين شرودنجر ١٧٦

استقطاب ١٤٢ – ١٤٤ ، ١٩١ ، ٢١٣ ، ٢٢٩

استون ، ف . و . ، ٣٠٤

الإسكندر الأكبر ٤٣ ، ٥٨ ، ٢٤٦

إشعاع الأجسام الساخنة ١٨٠

الإشعاع من الغازات ١٨٣

أشعة ألفا ٣٦٨ – ٣٦٩، ٣٧٠ ، ٣٧٩ ، ٣٨١ ، ٣٨٦ – ٣٨٧

إشعاع ٣٦٨ – ٣٧٠، ٣٧٢ – ٣٧٣

أشعة بيتا ٣٦٨ – ٣٦٩، ٣٧٠، ٣٧٩

أشعة جاما ٣٦٨ – ٣٦٩ ، ٣٧٠

الأشعة السينية الغامضة ٢٩٨

الأشعة فوق البنفسجية ٣٠٩ – ٣١٦

أشعة كونية ٣٢٠ – ٣٢١ ، ٤١١ ، ٤١٢ ، ٤١٧

أشعة المهبط ٢٩٤ – ٢٩٥ ، ٢٩٨

الاعتدالين ٥٩ ، ١١٦ – ١١٧

اكتشافات فارادى ٢٠٧ – ٢١٩

أكتنيوم ٣٦٧ – ٣٧٠

أمبير ٢٠٥

أمبير ، أندرى مارى ٢٠٣ – ٢٠٥

امتصاص الضوء ١٨٦ – ١٨٨

أمواج دى برولى ٣٣٩ – ٣٤١ ، ٣٤٣ ، ٣٧٥ – ٣٧٧

أمواج طائرة ٣٣٩

أنالن درفيزيك ٢٤٦ ، ٣٤١

انحناء الفضاء ٢٧٨ – ٢٨٧

أنريكو فرمى ٣٣٤ ، ٣٨٢ ، ٣٩٦، ٣٩٩ ، ٤١٣ ، ٤١٦

انكسار الضوء ٦٢ – ٦٤ ، ٦٧

الانكسار المزدوج ٦١

انشطار نووىّ ٤٠٠

انكماش – تقلص ٢٥٧

انكماش فترجيرالد ٢٤٣ ، ٢٥٤ ،

٢٥٦ — ٢٥٧ ، ٢٦٧
أوبنهيمر ، روبرت ٣٩٧
الإيونات ٢١٠
أينشتين ، البرت ٢٤٥ ، ٢٨٨

(ب)

باريوم ٣٩٦
بالمر ، ج . ج . ، ٣٢٨
براج ، و . ، ٣٠١
برنسبيا نيوتن ٢٤٩
البروتونات المضادة ٣٥٩
بروتون خفيف ٤١٢
بلاكت . م . س . ، ٣٨٦
بلورة من آيسلند ١٤٢ — ١٤٥
البندول ٧٩ — ٨١
بنيامين آبوت ٢٠٨
البورون ٣٨٧
بيفاترون ٣٦٠ ، ٣٨٩
بيك ، ج ٤٢٣ ، ٤٢٤
بيون ٤١٧ ، ٤١٩
بيير كورى ٣٦٦

(ت)

تايون ٤١٩
تجارب نيوتن على انكسار الضوء ١٢٨ — ١٣٤ ، ١٤٠ — ١٤٢
تجربة التداخل لينج ١٤١
تجربة جول ١٥٥ — ١٥٦
تحلل أشعة ألفا ٣٧٩
تحلل أشعة بيتا والنيوترينو ٣٧٩ — ٣٨٣
تحلل الميسونات ٤١٥
تحليل كهربى ٢١٠
تحويلا لورنتز ٢٥٦ ، ٢٧٣
التركيب النووى والاستقرار ٣٩١ — ٣٩٦
التركيب النووى والنيوترونات ٣٧٧ — ٣٧٨
الترمومترات ١٤٦ — ١٥١
ترمومتر غازى ١٤٨ — ١٥١
الترمومتر الغازى ودرجة الحرارة المطلقة ١٤٨
تساوى توزيع الطاقة ١٦٩ ، ٣١٢ — ٣١٣
تساوى الكتلة بالطاقة ٢٦١ — ٢٦٧ ، ٣٠٤ — ٣٠٥ ، ٤١٥
تعادل ٧٨
تفاعلات الانشطار المسلسلة ٣٩٦
التفاعلات النووية الحرارية ٢٦٦
التفجيرات الأولى للنواة ٣٨٣
تفسير نيوتن لألوان قوس قزح ١٢٩ — ١٣٤ ، ١٤١

تلسكوب نيوتن العاكس ١٢٩ — ١٣٠
التنجيم ٦٩
توزيع السرعة لمكسويل ١٧٠
توزيع الطاقات فى طيف متصل ١٨٢
تيخو براهى ٧٤

(ث)

ثعبان الماء المكهرب ١٩٧
ثيتون ٤١٩
ثيون ٦٧

(ج)

الجاذبية ٨١ ، ١١١ ، ١٦٤ ، ١٩٠ ، ٢١٩ ، ٢٧٤ — ٢٧٨ ، ٢٨٦
الجاذبية وانحناء الفضاء ٢٧٨ — ٢٨٧
الجبر ٤٥ ، ٦٩
الجدل بالدنياميكا الحرارية ١٥٦
الجدول الدورى للعناصر ٣٣٤
جزيئات ٣١٠ ، ٣١١ ، ٣١٣
جسم الشمس الكثيف أو (الفوتوسفير) ١٨٨
جسيمات ألفا ٣٠٧ ، ٣٠٨ ، ٣٠٩ ، ٣٢٣
الجلفانومتر ٢٠٥
چول ، ج . ب . ١٥٥ — ١٥٦
چيمس جينس ٣١٠ ، ٣٢٦
چيمس شادويك ٣٧٨ ، ٣٧٩ — ٣٨٠ ، ٣٨٢
چيمس كلارك ماكسويل ١٧٥ — ١٧٧ ، ٢٢١ — ٢٢٨
چين بيران ١٧٨ — ٢٩٣

(ح)

حجرة الفقاعة ٤١٨
الحرارة كصورة من صور الطاقة ١٤٦ — ١٨٨
حرارة كامنة ١٥٢ — ١٦٢
الحركة البراونية ١٧٧ — ١٧٨ ، ٢٤٦
حركة حرارية ١٦٧ — ١٧٥ ، ١٧٧ ، ٢٢٢ ، ٣٠٩
الحركة الحرارية المجهرية ١٧٧ — ١٧٩
الحركة الحرارية وانتشار الصوت ١٧٩ — ١٨٠
حساب التفاضل والتكامل ٨٠ ، ١٠٢ ، ١٠٣
حلقات نيوتن ١٢٩ — ١٣٤ ، ١٤١
حيود ٣٠٠ ، ٣٤٠ ، ٣٤٥

(خ)

خطوط فراونهوفر ١٨٨

(د)

دانيال بيرنولى ١٢٠
داين ١٠٨
درجة التعادل أو مقياس الترتيب ١٥٩ — ١٦١ ، ١٦٤ ، ١٧٣— ١٧٥ ، ٣٤٩
درجة الحرارة المطلقة ١٤٨ — ١٤٩ ، ١٥٠ — ١٥١
دورة الكربون ٤٠٣ — ٤٠٥
ديراك ، ب . ا . م . ٣٥١ — ٣٥٨ ، ٤٢١
ديناميكا ٧٩ — ٨٠
دى برولى ، لويس ٣٣٨ — ٣٤١
ديموقريطس عالم الذرة ٤٢
الديناميكا الحرارية ١٥٦ — ١٦١

(ذ)

ذبذبة ٧٩ ، ٨٠
الذرة ٤٢ — ٤٣ ، ٢٩١
ذرة بور ٣٣٤ — ٣٣٨ ، ٣٣٩

(ر)

الرادار ٦٢
رافعة ٤٤ — ٥٠
رذرفورد ، إرنست ٢٩٨ ، ٣٠٥ — ٣٠٩
الرقم الذرى ٣٠٩

(ز)

زجاجة ليدن ١٢٠ ، ١٩١ ؛ ١٩٨

(س)

ستاتيكا وديناميكا الأجسام السيالة ١٢٠ — ١٢٣
سرعة الضوء ٢٣١ — ٢٣٣ ، ٢٣٣— ٢٣٦ ، ٢٤٧ — ٢٤٨ ، ٢٥١ ،
سعر ١٧٤
سفينة صاروخية ٢٧٤ — ٢٧٨
سلسلة ستيفنسن ٧٧
السيال الحرارى ١٥١ — ١٥٣
السيكلترون ٣٨٨ — ٣٨٩

(ش)

شظية من الذرة القديمة ٢٩٢
شيشرون ٥٨

(ط)

طاقة ١٤٦
طاقة حركة ٢٦٦
الطاقة الذرية ٣٩٧
الطيور المنقرة ١٦١ — ١٦٤

(ظ)

ظاهرة دبلر ٢٤٨
ظاهرة كمتن ٣٢١ — ٣٢٢

(ع)

عالم الأبعاد الأربعة ٢٦٧
عائلات النشاط الإشعاعى ٣٦٧
عجلة ٨٥ ، ١٠٨ — ١٠٩
عداد جيجر ٣٠٧
عصر الكهرباء ١٨٩
العصور المظلمة وعصر النهضة ٦٨— ١٠٠
عفريت مكسويل ١٧٥ — ١٧٧
علاقات عدم التثبت ٣٢٤
علاقات عدم التثبيت من القياس
عمود فولتا ٢٠٠ ، ٢٠١ ، ٢٠٢ ، ٢٠٣ — ٢٠٦
عناصر النشاط الإشعاعى ٣٦٦ — ٣٦٧
عيب الكتلة ٣٠٥

(غ)

غاليليو الفلكى ٩٤ — ١٠٠
غاليليو غاليلى ٧٩
غرفة التكاثف أو غرفة السحابة ٣٤٧ ، ٣٥٨ ، ٣٨٥
غواصات ذرية ٤٠١

(ف)

فارادى ، ميخائيل ٢٠٧ ، ٢١٩ — ٢٢١ ، ٢٩٥
الفان دى جراف ٣٨٧ — ٣٨٨
فتزجيرالد ، ج . ف . ٢٤٢ ، ٢٥٤ ، ٢٦٧
فجر الفيرياء ٣٩ — ٦٧
فعل ٣٣٠
فلسفة أرسطو ٤٣ — ٤٤
الفلك (علم) ٩٤ — ١٠٠ ، ٣٦١
فوكولت ، جين ٢٣٢ — ٢٣٣
فولتا ١٩٨ — ١٩٩ ، ٢٠٢ ، ٢٠٨
فيثاغورث ٤٠ ، ٣١٣
فيرنر هيزنبرج ٣٤١ ، ٣٤٢، ٣٤٣، ٣٤٤ ، ٣٤٥ ، ٣٤٧ ، ٤١٢
الفيرياء التقليدية القديمة ٢٦٥

(ق)

قاعدة برنولى ١٢٠ — ١٢٢
قاعدة هيجنز لانتشار الأمواج ١٣٥— ١٤٠
قانون الأجسام الطافية لأرشميدس ٥٢ — ٥٤
قانون الأوتار لفيثاغورث ٤٠ — ٤١، ٧١
قانون أوم ٢٠٦
قانون البقاء ٣٧٢ — ٣٧٣
قانون بويل ١٤٨ ، ١٦٩ — ١٧٠
قانون التساقط ٨١
قانون الدائرة الكهربية ٢٠٥ — ٢٠٧

قانون الرافعة لأرشميدس ٤٤ ــ ٥٠
قانون شارل ١٤٨
قانون القوى الكهربية والمغناطيسية ١٩٤ ــ ١٩٨ ، ٢٠٧
قانون الكم ٢٩١
قصور ذاتى ١٠٦
قمر صناعى ١١٠ ــ ١١١ ، ٢٥٤
قنابل الانشطار والمفاعلات ٤٠٠
قنابل نووية ٣٩٩ ــ ٤٠٠
القنبلة الذرية ٢٦٦ ، ٤٠٠ ــ ٤٠١
قوانين الغازات ١٤٧
قوة ١٠٦
قوة طاردة مركزية ٢٨٢ ــ ٢٨٣
قوس قزح ١٢٨ ــ ١٢٩

(ك)

كاتوبتركس أو الانعكاس ٦٠
كارل إندرسون ٣٥٨ ، ٤١١
كبلر وقوانينه ٧١ ــ ٧٧ ، ٩٧ ، ٢٨٦
كاسحات الجليد الذرية ٤٠١
كتلة ١٠٥
كدميوم ٣٠١ ، ٣٠٤
الكروموسفير أو الطبقة الخارجية لجسم الشمس ١٨٨
كزموترون ٣٥٩ ، ٣٨٩
كشاف كهربى ١٩١
الكلور ٣٠١ ، ٣٠٤ ، ٣٣٧
كمتن ، آرثر ٣٢٠ ــ ٣٢٢
كم الطاقة ٤٢١
كمية الحركة ــ الدفع الميكانيكى ١٠٧ ــ ١٠٩ ، ٢٦٥
كمية المادة (أو الكتلة) ١٠٥
كوكروفت ، ج. ، ١٩٢ ، ٣٨٧ ، ٤٠٣
كولوم ، شارل أوجسطين دى ١٩٤ ــ ١٩٧
الكهارب البليدة (لها كتل سالبة)
كهرومغناطيسية ٢٠١ ــ ٢٠٤ ، ٢٢١ ، ٢٢٢ ــ ٢٢٨
الكيمياء الخرافية أو (الكمى) ٦٩

(ل)

لدفيج بولتزمان ١٦٧ ، ١٧٣ ، ١٧٤ ، ١٨٣ ، ٣٠٩ ، ٣٦٢
لولب أرشميدس ٥٥
ليثيوم ١٩٣ ، ٣٣٦

(م)

المادة المضادة ٣٥٩ ــ ٣٦٣
مبدأ عدم التثبت ٣٢٤ ، ٣٤٣
مبدأ عمل السيكلترون ٣٨٨ ــ ٣٨٩
متوالية أو متسلسلة ٣٨٢
متوالية بالمر ٣٨٢ ، ٣٢٩ ــ ٣٣٠

متوسط المسار أو متوسط المسار الطليق ١٧٠
مجال ٢٢١
المجال الكهرومغناطيسى ٢١٩–٢٢٨، ٢٣١ ، ٢٨٨ ، ٣٢٤
المجال المتحد أو المجال الموحد ٢١٩ ، ٢٨٨–٢٨٩
المجسطى ٦٢ — ٦٤
مخروط الضوء ٢٧٠
مسار خط سير ١١٠ — ١١١
المسار الحر أو الطليق ١٧٠ — ١٧١ ١٧٩
مستعرض ٢٢٩
محطمات الذرة ١٩٢ ، ١٩٣ ، ٣٨٧ — ٣٨٩
مدرسة الإسكندرية ٥٨ — ٦٧
المرونة ١٠٣
مصباح بنزن ١٨٤ — ١٨٦
المصعد (القطب الموجب) ١٩٤
مصفوف (ماتركس) ٣٤٢
مصفوفات ٣٤٢
معادلات جيمس كلارك ماكسويل ٢٢٣ — ٢٢٥
مغناطيس كهربائى ٣٦٨
المغناطيسية ١٨٩ — ١٩٠ ، ٢١٤ ، ٢١٥ — ٢١٦
المقاومة الكهربية ٢٠٦ — ٢٠٧
المهبط (القطب السالب) ١٩٤
منطق ٤٣
المهبط المضاد ٢٩٨
موجات دى برولى ٣٣٨ — ٣٤١ ، ٣٤٢ ، ٣٧٥ ، ٣٧٧
موجات المادة ٣٣٨ — ٣٤٢
ميزان اللى لكولوم ١٩٤
ميزوثوريوم أو الثوريوم الأوسط ٣٦٧
ميسوترون ٤١٢
الميسون ٢٥٤ ، ٤١٢
الميسونات والهيبرونات ٤١٠
ميكانيكا سماوية ١١٥
ميكانيكا موجية ٣٣٨ — ٣٤٢
ميكانيكا النسبية ٢٥٥ — ٢٦١
ميون ٤١٧ ، ٤١٩

(ن)

النجم القطبى ١١٦
نسبية الحركة ٢٤٦ — ٢٤٩
نشاط إشعاعى ٣٠٥ ، ٣٠٧ ، ٣٦٥ ، ٣٧٠ ، ٣٨١
نصف العمر ٣٧٣ ، ٣٧٧ ، ٤١٧
النظائر أو التوائم ٣٠١ — ٣٠٤
نظرية الجاذبية فى النسبية ٢٧٤ — ٢٧٨ ، ٣١٠

نظرية الحركة للحرارة ١٦٧ — ١٧٥ ، ١٧٨ ، ٣٠٩
نظرية ذات الحدين ١٠٢
نظرية الكم ٢٢٨ ، ٢٤٦ ، ٣٢٢ ، ٣٢٤ ، ٣٢٦ ، ، ٣٤١ ، ٣٥٥
نظرية المجال الموحد ٢١٩ ، ٢٨٨— ٢٨٩
النظرية الموجية للضوء ١٣٣ ، ٢٣٣ ، ٢٣٤
نظرية النسبية ٨٠ ، ٩٤ ، ١٠٥ ، ١٧٨ ، ٢٣٦ ، ٢٤٦ ، ٢٤٩ — ٢٥٠ ، ٢٥٥ ، ٢٦١ ، ٣٤٤ ، ٣٥١ — ٣٥٢
نقولا كبرنيق ٧١ ، ٩٠ ، ٩٧
نموذج ذرة بور والجدول الدورى للعناصر ٣٣٤ — ٣٣٨ ، ٣٣٩
نموذج رذرفورد الذرى ٣٠٥ — ٣٠٩
نواة الذرة ٣٠٩ ، ٣٢٣ ، ٣٦٥
نوى على هيئة كتل العجين ٣٩٢— ٣٩٣
نيل بور ٣٢٤ ، ٣٢٥
النيوترونات المضادة ٣٦١
النيوترون ٣٧٨ — ٣٧٩
نيون ٣٣٦

(هـ)

هارون الرشيد ٦٩
الهالات ١٢٨
هزة الاعتدالين ١١٦ — ١١٧
هنرى بكريل ٣٦٥ — ٣٦٦
هنرى كافندش ١٩٦ — ١٩٧
هيبارخوس ٥٩ ، ٦٢
هيبرونات ٤١٧
هيجنز ، ك. ، ١٠٣ ، ١٣٥ — ١٤٠ ، ١٤٢ — ١٤٥ ، ٢٣٣
هيدروستا تيكا أوعلم توازن السوائل ١٢٠
هيرون أو (هيرو) ٥٩ — ٦٣ ، ٧٧
هيليوم ٣٠١ ، ٣٣٦ ، ٣٦٨ ، ٤٠٦

(و)

والتون ، إ . ت. س . ١٩٢ ، ٣٨٧ ، ٤٠٣

(ى)

يعكس أو يرد ٦٣ — ٦٤ ، ٦٦
اليورانيوم ٣٦٥ ، ٣٦٦ ، ٢٧٠ ، ٣٧٣ ، ٣٧٤ ، ٣٩٦ ، ٣٩٨ ، ٣٩٩ ، ٤٠١
يوكونات ٤١١

الإشــــــراف اللغـــــوى : حسام عبد العزيز

الإشــــــراف الفــــــنى : حـســن كــامــل

التصميم الأساسى للغلاف : أســامـة العـبـد

تم طبع هذا الكتاب من نسخة قديمة مطبوعة

لا يعرف التاريخ أمة اهتمت بالعلم مثلما اهتمت به الأمة العربية فى عصر ازدهارها؛ فلقد كان العلم والحركة الثقافية جزءا لا يتجزأ من حياة هذه الأمة، وظلت عواصم عربية كالقاهرة ودمشق وبغداد وقرطبة قرونا بأكملها مراكز إشعاع للعلم فى العالم بأسره.

وهذا الكتاب الذى نقدمه اليوم للقارئ العربى كتاب قيم لعالم الفيزياء المشهور جورج جاموف يعرض فيه لتاريخ الفيزياء منذ أن توصل فيثاغورث إلى الكشف عن نسب التردد فى القرن السادس قبل الميلاد حتى البحوث التى يجربها الفيزيائيون اليوم على الجسيمات الأولية.

ولقد التزم المؤلف فى هذا الكتاب طريقا وسطا؛ فلم يقتصر فى كتابته على الحقائق والنظريات الجافة فى علم الفيزياء، وإنما استطرد إلى الكتابة عن كبار علماء الفيزياء أمثال: نيوتن، وكافندش، وأمبير، وفارادى، وغيرهم، وأورد تجاربهم وما توصلوا إليه من نتائج ونظريات. ولقد اجتمع للكتاب مؤلف عالم ممتاز ومترجم عالِم عربى ممتاز فجاء فى هذه الصورة الرائعة تأليفَا وترجمة، لهذا فهو يعتبر بغير شك حافزا على الدرس والاطلاع لكل قارئ يريد أن يستزيد من المعرفة بعالم الفيزياء وما توصل العاملون فيه من نتائج هى أقرب إلى الخيال.

Bibliotheca Alexandrina
0680505

تصميم الغلاف: نسرين كشك